

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

*Escuela Politécnica Superior*

INGENIERÍA INFORMÁTICA  
PROYECTO FIN DE CARRERA

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE RUTAS PARA ENTORNOS AISLADOS**

ALUMNO: ALBERTO GARCÍA FERNÁNDEZ  
TUTOR: FÉLIX GARCÍA CARBALLEIRA

JUNIO 2010

[Esta página se ha dejado intencionadamente en blanco]

## RESUMEN

Durante la última década la tecnología GPS ha tenido una gran difusión. La venta y distribución de receptores GPS se ha multiplicado convirtiendo el uso de dicha tecnología en algo común, muy presente en toda la sociedad. A pesar de ello, existe la idea general, muy arraigada en toda la población, de que los navegadores GPS son caros.

Analizando la oferta de navegadores GPS existente en el mercado actual, se observa una falta de soluciones cuyas características sean las siguientes: producto accesible a los perfiles económicos más limitados, utilizable en cualquier tipo de entorno (incluyendo entornos aislados con menor presencia de tecnologías de última generación) y que incorpore mapas satelitales que permitan navegar por zonas agrestes o rurales donde otro tipo de mapas resultan inútiles.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un producto *software* que incorpore las características arriba descritas, cubriendo de este modo el nicho de mercado dejado por el resto de soluciones, más caras o menos adaptables a diferentes entornos. Para lograr este objetivo se utilizarán estrategias que permitan abaratar costes y favorecer la distribución y difusión del producto.

En primer lugar, la solución se basará en el uso de dispositivos móviles de propósito general con receptor GPS incorporado (como una PDA o un teléfono móvil de última generación), cuyo coste relativo es menor que el de un dispositivo GPS dedicado. Las imágenes satelitales se obtendrán de servidores de cartografía presentes en Internet, que permitan la descarga gratuita de mapas en formato digital. Además, se incorporarán funcionalidades relativas a la creación y seguimiento de rutas que añadan operatividad y versatilidad al producto.

Finalmente, las actividades realizadas y los conocimientos adquiridos a lo largo de todo el proyecto se plasmarán en el presente documento, que pretende reflejar la labor llevada a cabo por el alumno.

**Palabras clave:** *navegación GPS, entornos aislados, bajo coste.*

[Esta página se ha dejado intencionadamente en blanco]

## ABSTRACT

Throughout the last decade, GPS technology has been widely disseminated. Sales and distribution of GPS receivers has increased, turning the above mentioned technology into something ordinary, present in the whole society. Nevertheless, currently it exists the concept deeply rooted in all over population, that GPS navigators are expensive.

Analyzing the supply of GPS navigators in today's market, a lack of solutions whose characteristics are as follows is observed: product accessible to low economic profiles, usable in anywhere environment (including isolated environments with less presence of cutting edge technologies) and incorporating satellite maps that allow navigation through wilderness areas where other kinds of maps are useless.

The goal of this project is to develop a software product that incorporates the above mentioned features, overlaying the market niche left by all other solutions, more expensive and less adaptable to various environments. In order to achieve this target, several strategies will be used whit the aim of reduce costs and increase distribution and dissemination of product.

First of all, the solution will be based on the use of general-purpose mobile devices (as a PDA or a smartphone) which are lower relative cost than dedicated GPS devices. Satellite images will be obtained from Internet map servers, which allow free downloading of maps in digital format. Also, features related to creation and management of routes will be incorporated, adding functionality and versatility to the product.

Finally, carried out activities and acquired knowledge along the project will be reflected in this document, which expects to capture the student's work.

**Keywords:** *GPS navigation, isolated environments, low cost.*

[Esta página se ha dejado intencionadamente en blanco]

# Índice de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Visión general .....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Evolución.....	1
1.1.3. Problemática.....	3
1.2. Objetivo del proyecto .....	5
1.3. Estructura del documento .....	6
1.4. Definiciones y acrónimos .....	7
2. ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1. Geodesia.....	15
2.1.1. Introducción .....	15
2.1.2. Geoide.....	15
2.1.3. Elipsoide.....	17
2.1.4. <i>Datums</i> de referencia.....	22
2.1.5. Sistemas de coordenadas.....	24
2.1.6. Coordenadas geográficas .....	24
2.1.7. Coordenadas UTM .....	26
2.1.8. Coordenadas ECEF .....	30
2.1.9. Transformaciones entre sistemas de coordenadas .....	31
2.1.10. Transformaciones entre distintos <i>datums</i> .....	35
2.2. El sistema GPS.....	40
2.2.1. Composición.....	40
2.2.2. Funcionamiento .....	40
2.2.3. Aumentaciones .....	43
2.3. Servidores de mapas .....	45
2.3.1. SIGPAC.....	46
2.3.2. Google Maps .....	49
2.4. Plataforma <i>software</i> .....	52
2.4.1. .NET y .NET CF .....	52
2.4.2. GPSID .....	56
3. ANÁLISIS.....	61
3.1. Alternativas de solución.....	61
3.1.1. Aplicaciones de la solución.....	61

3.1.2.	Sincronización de los recursos.....	62
3.1.3.	Plataformas.....	62
3.1.4.	Fuentes de mapas.....	63
3.1.5.	Esquema general de la solución .....	63
3.2.	Estudio de casos de uso .....	64
3.2.1.	Aplicación para PC .....	65
3.2.2.	Aplicación para dispositivo móvil .....	71
3.3.	Especificación de requisitos.....	76
3.3.1.	Requisitos de usuario .....	77
3.3.2.	Requisitos <i>software</i> funcionales.....	83
3.3.3.	Requisitos <i>software</i> no funcionales .....	89
4.	DISEÑO .....	95
4.1.	Diseño arquitectónico .....	95
4.1.1.	Aplicación para PC .....	95
4.1.2.	Aplicación para dispositivo móvil .....	97
4.2.	Diseño detallado .....	99
4.2.1.	Aplicación para PC .....	100
4.2.2.	Aplicación para dispositivo móvil .....	103
4.3.	Interfaces .....	105
4.3.1.	Aplicación para PC .....	106
4.3.2.	Aplicación para dispositivo móvil .....	109
4.4.	Formato de la URL de SIGPAC .....	114
4.5.	Formato de ficheros XML .....	116
5.	PRUEBAS.....	119
5.1.	Especificación del plan de pruebas .....	119
5.2.	Especificación del entorno de pruebas .....	121
5.2.1.	Aplicación para PC .....	121
5.2.2.	Aplicación para dispositivo móvil .....	123
5.3.	Plan de pruebas.....	124
5.3.1.	Pruebas de entorno final .....	126
5.3.2.	Pruebas de aceptación .....	130
5.3.3.	Pruebas de carga .....	140
5.3.4.	Pruebas de rendimiento .....	142
6.	PRESUPUESTO.....	145



6.1.	Ciclo de vida del proyecto .....	145
6.2.	Planificación del proyecto.....	147
6.3.	Costes del proyecto.....	150
6.4.	Propuesta de oferta.....	152
7.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	155
7.1.	Conclusiones .....	155
7.1.1.	Aspectos positivos.....	155
7.1.2.	Aspectos negativos .....	156
7.2.	Trabajos futuros .....	156
7.2.1.	Ampliar elipsoides y transformaciones.....	156
7.2.2.	Integración con <i>Google Maps</i> .....	157
7.2.3.	Integración con servidores WMS .....	158
7.2.4.	Evolución de la interfaz de usuario a WPF.....	158
7.2.5.	Sincronización de las aplicaciones mediante <i>ActiveSync</i> .....	159
7.2.6.	Formato de ficheros XML basado en GPX.....	159
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	161
8.1.	Publicaciones .....	161
8.2.	Páginas <i>web</i> .....	162
	ANEXOS .....	167
	Anexo I: Manual de usuario .....	167
	Instalación y configuración.....	167
	Requisitos mínimos .....	167
	Guía rápida de <i>PulgarcitoPC</i> .....	168
	Guía rápida de <i>Pulgarcito</i> .....	173
	Resolución de problemas.....	176
	Anexo II: Formulas matemáticas.....	177
	Cálculos sobre la geometría del elipsoide .....	177
	Conversión de coordenadas geográficas a UTM: Problema directo.....	177
	Conversión de coordenadas geográficas a UTM: Problema inverso.....	180
	Conversión de coordenadas geográficas a ECEF: Problema directo.....	183
	Conversión de coordenadas geográficas a ECEF: Problema inverso.....	184

[Esta página se ha dejado intencionadamente en blanco]

## Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 - Realidad aumentada: Información virtual sobre imágenes reales.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 2 - TomTom operando sobre el Iphone.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 3 - Esquema del geoide [19].....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 4 - Geoide en Europa y África [8].....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 5 - Elipsoide con sus tres semiejes a, b y c desiguales [20] .....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 6 - Elipsoide a partir de los dos semiejes [19] .....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 7 - Diferencias entre geoide y elipsoide [8] .....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 8 - Elipsoide local y elipsoide global [9] .....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 9 - Coordenadas geográficas [21].....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 10 - Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme) [22] .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 11 - Proyecciones cilíndricas normal y transversal [23] .....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 12 - Zonas y husos UTM [24].....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 13 - Coordenadas ECEF y su relación con las coordenadas geográficas [25] .....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 14 - Ejes cartesianos del elipsoide [19] .....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 15 - Dos elipsoides con diferentes ejes cartesianos [19] .....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 16 - Transformación entre diferentes ejes cartesianos [19].....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 17 - Constelación NAVSTAR .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 18 - Triangulación GPS.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 19 - Esquema de funcionamiento del DGPS [31].....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 20 - Visor SIGPAC en el navegador Internet Explorer .....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 21 - Interfaces de acceso a SIGPAC.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 22 - Esquema de URL de SIGPAC.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 23 - Google Maps en el navegador Mozilla Firefox.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 24 - Esquema de URL de Google Static Maps.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 25 - Desarrollo y ejecución de una aplicación en la plataforma .NET.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 26 - Ejecución de una aplicación en el entorno de desarrollo .NET.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 27 - Arquitectura del GPSID .....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 28 - Esquema general de la solución.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 29 - Diagrama de casos de uso para la aplicación para PC.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 30 - Diagrama de casos de uso de la aplicación para dispositivo móvil con GPS ..</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 31 - Diseño arquitectónico de la aplicación PulgarcitoPC.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 32 - Diseño arquitectónico de la aplicación Pulgarcito.....</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 33 - Diseño detallado de la biblioteca PulgarcitoPCController.dll.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 34 - Diagrama de secuencia al pulsar sobre el mapa en la aplicación PulgarcitoPC .....</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 35 - Diseño detallado de la biblioteca PulgarcitoController.dll.....</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 36 - Diagrama de secuencia al encender el HW GPS en la aplicación Pulgarcito</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 37 - Prototipo de bajo nivel (boceto) de la aplicación PulgarcitoPC .....</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 38 - Prototipo de bajo nivel (esquema) de la aplicación PulgarcitoPC.....</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 39 - Prototipo de alto nivel de la aplicación PulgarcitoPC .....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 40 - Prototipo de bajo nivel (boceto) de la aplicación Pulgarcito .....</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 41 - Prototipo de bajo nivel (esquema) de la aplicación Pulgarcito .....</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 42 - Diagrama de estados de la interfaz de usuario de la aplicación Pulgarcito ..</i>	<i>112</i>

<i>Ilustración 43 - Prototipo de alto nivel de la aplicación Pulgarcito .....</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 44 – Progresión de niveles de escala en SIGPAC .....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 45 - Alienware Aurora .....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 46 - HTC Touch Diamond .....</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración 47 - HTC P3300.....</i>	<i>124</i>
<i>Ilustración 48 - Ciclo de vida en espiral utilizado .....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 49 - Diagrama de Gantt: (2/4) y (1/4) .....</i>	<i>148</i>
<i>Ilustración 50 - Diagrama de Gantt: (4/4) y (3/4) .....</i>	<i>149</i>
<i>Ilustración 51 - Posible modelo de datos de elipsoides y transformaciones .....</i>	<i>157</i>
<i>Ilustración 52 - Pantalla principal de PulgarcitoPC.....</i>	<i>168</i>
<i>Ilustración 53 – Menú de PulgarcitoPC .....</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 54 – Panel de imágenes de PulgarcitoPC .....</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 55 - Botones de PulgarcitoPC .....</i>	<i>170</i>
<i>Ilustración 56 – Panel de coordenadas geográficas de PulgarcitoPC .....</i>	<i>171</i>
<i>Ilustración 57 – Panel de coordenadas UTM de PulgarcitoPC .....</i>	<i>171</i>
<i>Ilustración 58 – Panel de coordenadas del usuario de PulgarcitoPC.....</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 59 – Control de elipsoide de PulgarcitoPC.....</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 60 – Barra de información de PulgarcitoPC.....</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 61 – Sistema de mapas de PulgarcitoPC.....</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 62 - Datos textuales que ofrece Pulgarcito .....</i>	<i>175</i>
<i>Ilustración 63 - Mapa con un punto de ruta que ofrece Pulgarcito.....</i>	<i>176</i>

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Proliferación de los GPS en EMEA. 2005-2006 [7] .....	2
Tabla 2 - Proliferación de los GPS en EEUU. 2005-2006 [7] .....	2
Tabla 3 - Densidades relativas de materiales de la superficie terrestre [8].....	16
Tabla 4 - Coordenadas del vértice de Carbonera en ED50 y WGS84.....	23
Tabla 5 - Coordenadas geográficas en notación decimal y sexagesimal .....	26
Tabla 6 - Parámetros de la transformación de Helmert en la Península Ibérica (ED50 a ETRS89) .....	39
Tabla 7 - Fuentes de error en el sistema GPS .....	42
Tabla 8 - Comparativa entre SIGPAC y Google Static Maps.....	52
Tabla 9 - Principales versiones de .NET Framework .....	55
Tabla 10 - Principales versiones de .NET Compact Framework.....	56
Tabla 11 - Caso de uso CU-PC001: Crear Nuevo Fichero .....	66
Tabla 12 - Caso de uso CU-PC002: Abrir Fichero .....	66
Tabla 13 - Caso de uso CU-PC003: Guardar Fichero .....	67
Tabla 14 - Caso de uso CU-PC004: Insertar Punto .....	67
Tabla 15 - Caso de uso CU-PC005: Crear Ruta .....	68
Tabla 16 - Caso de uso CU-PC006: Descargar Imágenes .....	68
Tabla 17 - Caso de uso CU-PC007: Guardar Imágenes .....	69
Tabla 18 - Caso de uso CU-PC008: Ir A .....	69
Tabla 19 - Caso de uso CU-PC009: Traducir Coordenadas.....	70
Tabla 20 - Caso de uso CU-PC010: Ver Información Elipsoide .....	70
Tabla 21 - Caso de uso CU-MV001: Crear Nueva Ruta .....	72
Tabla 22 - Caso de uso CU-MV002: Abrir Archivo .....	72
Tabla 23 - Caso de uso CU-MV003: Guardar Ruta .....	73
Tabla 24 - Caso de uso CU-MV004: Almacenar Puntos .....	73
Tabla 25 - Caso de uso CU-MV005: Rastrear Puntos.....	74
Tabla 26 - Caso de uso CU-MV006: Navegar Último Punto .....	74
Tabla 27 - Caso de uso CU-MV007: Configurar Parámetro .....	75
Tabla 28 - Requisito de usuario RC-PC001.....	77
Tabla 29 - Requisito de usuario RC-PC002.....	77
Tabla 30 - Requisito de usuario RC-PC003.....	77
Tabla 31 - Requisito de usuario RC-PC004.....	78
Tabla 32 - Requisito de usuario RC-PC005.....	78
Tabla 33 - Requisito de usuario RC-PC006.....	78
Tabla 34 - Requisito de usuario RC-PC007.....	78
Tabla 35 - Requisito de usuario RC-PC008.....	78
Tabla 36 - Requisito de usuario RC-PC009.....	79
Tabla 37 - Requisito de usuario RC-PC010.....	79
Tabla 38 - Requisito de usuario RR-PC001 .....	79
Tabla 39 - Requisito de usuario RR-PC002 .....	79
Tabla 40 - Requisito de usuario RR-PC003 .....	79
Tabla 41 - Requisito de usuario RR-PC004.....	80
Tabla 42 - Requisito de usuario RC-MV001 .....	80

<i>Tabla 43 - Requisito de usuario RC-MV002</i> .....	80
<i>Tabla 44 - Requisito de usuario RC-MV003</i> .....	80
<i>Tabla 45 - Requisito de usuario RC-MV004</i> .....	80
<i>Tabla 46 - Requisito de usuario RC-MV005</i> .....	81
<i>Tabla 47 - Requisito de usuario RC-MV006</i> .....	81
<i>Tabla 48 - Requisito de usuario RC-MV007</i> .....	81
<i>Tabla 49 - Requisito de usuario RC-MV008</i> .....	81
<i>Tabla 50 - Requisito de usuario RC-MV009</i> .....	82
<i>Tabla 51 - Requisito de usuario RC-MV010</i> .....	82
<i>Tabla 52 - Requisito de usuario RC-MV011</i> .....	82
<i>Tabla 53 - Requisito de usuario RR-MV001</i> .....	82
<i>Tabla 54 - Requisito de usuario RR-MV002</i> .....	83
<i>Tabla 55 - Requisito funcional RF-PC001</i> .....	83
<i>Tabla 56 - Requisito funcional RF-PC002</i> .....	83
<i>Tabla 57 - Requisito funcional RF-PC003</i> .....	83
<i>Tabla 58 - Requisito funcional RF-PC004</i> .....	84
<i>Tabla 59 - Requisito funcional RF-PC005</i> .....	84
<i>Tabla 60 - Requisito funcional RF-PC006</i> .....	84
<i>Tabla 61 - Requisito funcional RF-PC007</i> .....	84
<i>Tabla 62 - Requisito funcional RF-PC008</i> .....	85
<i>Tabla 63 - Requisito funcional RF-PC009</i> .....	85
<i>Tabla 64 - Requisito funcional RF-PC010</i> .....	85
<i>Tabla 65 - Requisito funcional RF-PC011</i> .....	85
<i>Tabla 66 - Requisito funcional RN-PC001</i> .....	86
<i>Tabla 67 - Requisito funcional RF-MV001</i> .....	86
<i>Tabla 68 - Requisito funcional RF-MV002</i> .....	86
<i>Tabla 69 - Requisito funcional RF-MV003</i> .....	86
<i>Tabla 70 - Requisito funcional RF-MV004</i> .....	87
<i>Tabla 71 - Requisito funcional RF-MV005</i> .....	87
<i>Tabla 72 - Requisito funcional RF-MV006</i> .....	87
<i>Tabla 73 - Requisito funcional RF-MV007</i> .....	87
<i>Tabla 74 - Requisito funcional RF-MV008</i> .....	88
<i>Tabla 75 - Requisito funcional RF-MV009</i> .....	88
<i>Tabla 76 - Requisito funcional RF-MV010</i> .....	88
<i>Tabla 77 - Requisito funcional RF-MV011</i> .....	88
<i>Tabla 78 - Requisito funcional RF-MV012</i> .....	89
<i>Tabla 79 - Requisito no funcional RI-PC001</i> .....	89
<i>Tabla 80 - Requisito no funcional RI-PC002</i> .....	89
<i>Tabla 81 - Requisito no funcional RI-PC003</i> .....	89
<i>Tabla 82 - Requisito no funcional RI-PC004</i> .....	90
<i>Tabla 83 - Requisito no funcional RI-PC005</i> .....	90
<i>Tabla 84 - Requisito no funcional RI-PC006</i> .....	90
<i>Tabla 85 - Requisito no funcional RI-PC007</i> .....	90
<i>Tabla 86 - Requisito no funcional RI-PC008</i> .....	91
<i>Tabla 87 - Requisito no funcional RO-PC001</i> .....	91

<i>Tabla 88 - Requisito no funcional RO-PC002 .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 89 - Requisito no funcional RO-PC003 .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 90 - Requisito no funcional RP-PC001 .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 91 - Requisito no funcional RP-PC002.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 92 - Requisito no funcional RO-MV001.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 93 - Requisito no funcional RP-MV001 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 94 - Requisito no funcional RP-MV002 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 95 - Requisito no funcional RI-MV001 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 96 - Requisito no funcional RI-MV002 .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 97 - Requisito no funcional RD-MV001.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 98 - Requisito no funcional RD-MV002.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 99 - URL de imágenes de diferente escala para un mismo punto.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 100 - Plan de pruebas .....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 101 - Prueba de entorno final PE-PC001.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 102 - Prueba de entorno final PE-PC002.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 103 - Prueba de entorno final PE-MV001 .....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 104 - Prueba de entorno final PE-MV002 .....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 105 - Prueba de aceptación PA-PC001 .....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 106 - Prueba de aceptación PA-PC002 .....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 107 - Prueba de aceptación PA-PC003 .....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 108 - Prueba de aceptación PA-PC004 .....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 109 - Prueba de aceptación PA-PC005 .....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 110 - Prueba de aceptación PA-MV001 .....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 111 - Prueba de aceptación PA-MV002 .....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 112 - Prueba de aceptación PA-MV003 .....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 113 - Prueba de aceptación PA-MV004 .....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 114 - Prueba de aceptación PA-MV005 .....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 115 - Prueba de carga PC-PC001 .....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 116 - Prueba de carga PC-MV001 .....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 117 - Prueba de rendimiento PR-MV001 .....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 118 – Información del proyecto .....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 119 – Costes de personal .....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 120 – Conformidad del personal .....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 121 – Costes de equipos.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 122 – Otros costes directos .....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 123 – Resumen de costes.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 124 – Cálculo de la oferta .....</i>	<i>152</i>



## INTRODUCCIÓN



## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema GPS ha sido desde que se desplego la principal herramienta utilizada para el cálculo de coordenadas y el posicionamiento sobre mapas de cualquier tipo. Su carácter universal y gratuito lo convierten en la tecnología más común utilizada para seguir rutas o itinerarios con o sin la ayuda de mapas. Conforme la tecnología ha avanzado el soporte más común de los mapas ha evolucionado del papel a formato electrónico, con el potencial que esto plantea al ser ahora procesables y almacenables por equipos electrónicos e informáticos. Se pueden combinar ambos elementos para acceder y situarse en casi cualquier lugar del planeta. No obstante, existen actualmente una serie de condicionantes y limitaciones que dificultan su utilización por parte de los usuarios con perfil económico más bajo.

### 1.1. Visión general

#### 1.1.1. Historia

A lo largo de las décadas 70 y 80 el gobierno de Estados Unidos, impulsado por la necesidad de tomar ventaja sobre la Unión Soviética, desarrollo un sistema de navegación con fines militares basado en satélites en órbita [4]. Mediante la triangulación de las señales emitidas y gracias al efecto *Doppler*, un receptor podía obtener su posición en el globo terráqueo, así como su orientación y su velocidad.

Con el fin de la guerra fría, el gobierno de Estados Unidos ofreció a la comunidad internacional el uso libre del sistema, especialmente útil para la navegación civil. En 1996 Bill Clinton publicó una nota de prensa cambiando su política acerca del sistema y declarándolo de uso dual militar y civil [5].

#### 1.1.2. Evolución

Desde que en 1995 [6] el gobierno de Estados Unidos declarara el sistema funcionando oficialmente, el uso del GPS se ha extendido por todo el planeta, y se ha generalizado su utilización por parte de todo tipo de personas. Siendo originalmente un sistema militar creado por Estados Unidos, se ha convertido en un sistema universal utilizado por cualquier país, hasta el punto de que la Unión Europea ha impulsado su propio sistema de posicionamiento Galileo para reducir la dependencia de Estados Unidos en relación con la navegación y el posicionamiento. Partiendo de un sistema utilizado exclusivamente por el ejército americano, ha evolucionado hasta convertirse en un sistema utilizado por organismos internacionales, grandes compañías, y público en general.

Parte de culpa de esta difusión de uso del sistema la tiene la proliferación de receptores GPS que permiten a los usuarios mediante la incorporación de dispositivos

## INTRODUCCIÓN

de pequeñas dimensiones conocer su localización allí donde se encuentren. La *Tabla 1* y la *Tabla 2* muestran la gran difusión del sistema en términos de ventas de dichos receptores. Estos dispositivos comenzaron siendo dispositivos especializados de alto coste, pero conforme se ha ido extendiendo el uso del sistema, comenzaron a proliferar alternativas en forma de receptores GPS incorporados a móviles, PDA, etc.

<b>Mercado de GPS integrado en dispositivos móviles de navegación en EMEA</b> <b>Porcentajes de mercado de vendedores <i>hardware</i> 2006, 2005</b>					
<b>Vendedor</b>	<b>Ventas 2006</b>	<b>% 2006</b>	<b>Ventas 2005</b>	<b>% 2005</b>	<b>Incremento 06/05</b>
TomTom	747,610	30.5%	258,530	20.8%	189.2%
Garmin	408,660	16.7%	102,530	8.2%	298.6%
Mio Technology	232,990	9.5%	157,470	12.6%	48.0%
Navman	156,510	6.4%	88,640	7.1%	76.6%
Medion	149,920	6.1%	169,220	13.6%	-11.4%
Otros	753,230	30.8%	469,480	37.7%	60.4%
<b>Total</b>	<b>2,448,920</b>	<b>100%</b>	<b>1,245,870</b>	<b>100%</b>	<b>96.6%</b>

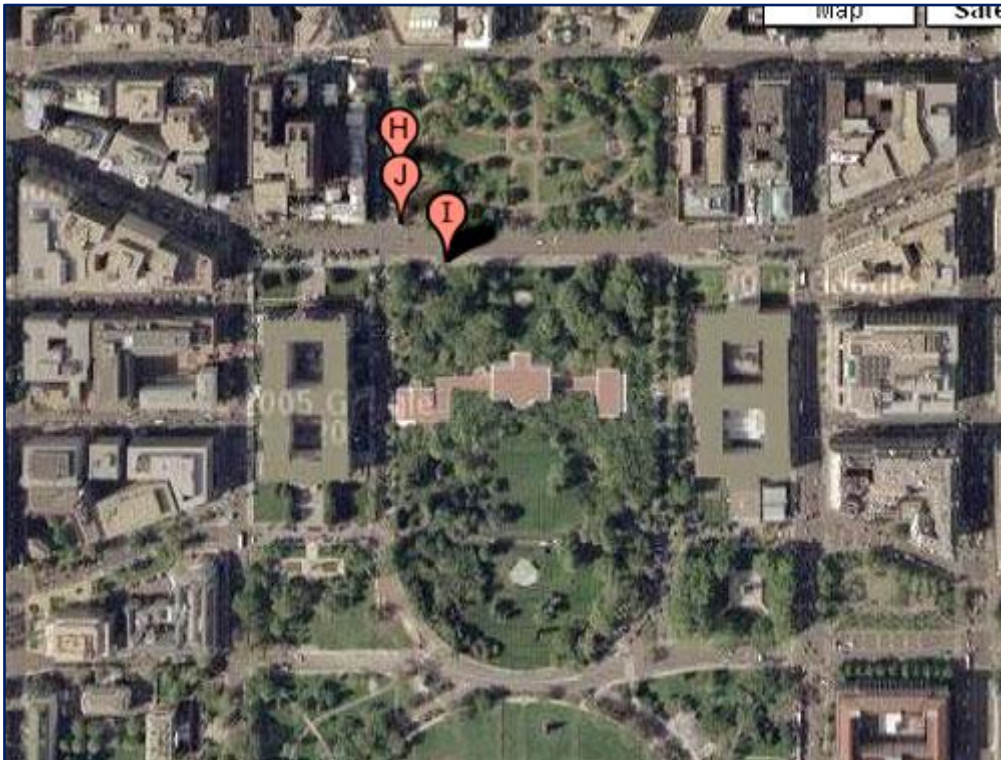
*Tabla 1 - Proliferación de los GPS en EMEA. 2005-2006 [7]*

<b>Mercado de dispositivos de navegación portátil en EEUU</b> <b>Porcentajes de mercado de vendedores <i>hardware</i> 2006, 2005</b>					
<b>Vendedor</b>	<b>Ventas 2006</b>	<b>% 2006</b>	<b>Ventas 2005</b>	<b>% 2005</b>	<b>Incremento 06/05</b>
TomTom	396,530	13.8%	100,590	12.9%	294.2%
Garmin	1,443,150	50.3%	389,910	50.2%	270.1%
Mio Technology	119,690	4.2%	610	0.1%	19521.3%
Magellan	415,160	14.5%	181,460	23.3%	128.8%
Lowrance	66,420	2.3%	32,720	4.2%	103.0%
Otros	426,870	14.9%	71,990	9.3%	493.0%
<b>Total</b>	<b>2,867,820</b>	<b>100%</b>	<b>777,280</b>	<b>100%</b>	<b>269.0%</b>

*Tabla 2 - Proliferación de los GPS en EEUU. 2005-2006 [7]*

Por otra parte, la expansión del mercado ha provocado toda una proliferación de tecnologías alternativas o sencillamente de respaldo a la tecnología original del GPS. Estas nuevas alternativas han contribuido a diversificar aun más el catalogo de soluciones para la navegación personal. No obstante, también requieren elementos adicionales como estaciones base, servidores, conexiones de datos, etc., que complican la infraestructura. Ejemplos de tecnologías de este tipo son el DPGS, el A-GPS y la localización GSM.

Los mapas son el otro gran protagonista de este entramado. A lo largo de la segunda mitad del siglo XX y comienzos del XXI su formato ha evolucionado de tal forma que actualmente su uso más común es a través de soporte electrónico, relegando al papel a un rol meramente histórico. Actualmente prácticamente todos los mapas en formato electrónico que se puedan obtener, ya sea de forma gratuita en la *web* o adquiriéndolos a empresas propietarias, permiten plasmar sobre ellos información mediante lo que se denomina técnicas de realidad aumentada. En el caso que nos ocupa: rutas y puntos de interés.



*Ilustración 1 - Realidad aumentada: Información virtual sobre imágenes reales*

No obstante, la tendencia marca que los mapas que pueden consultarse de forma gratuita son solo para eso: consulta. No suelen poder descargarse o no suele ser sencillo hacerlo. Por otra parte, los mapas propietarios son perfectamente descargables y generalmente muy integrables con los dispositivos GPS, aunque su coste es bastante elevado para perfiles como el del ciudadano medio.

### **1.1.3. Problemática**

En entornos aislados o poco comunicados, donde hay poca o directamente no hay infraestructura tecnológica, el uso del GPS junto con mapas en formato electrónico se complica o se encarece, lo cual es lo mismo para personas con poco poder adquisitivo.

Se pueden resumir en tres las soluciones mayoritarias que presenta el mercado en cuanto a navegación GPS sobre mapas en formato electrónico, y todas ellas adolecen de las características necesarias planteadas anteriormente para funcionar adecuadamente en entornos aislados:

1. Solución basada en un dispositivo polivalente (tipo PDA o móvil) y mapas consultados (pero no almacenados) en la *web* de forma gratuita. Es la solución más económica, ya que el acceso a los mapas es libre y por tanto no se grava al usuario inicial. No obstante, el precio es dependiente de la calidad del dispositivo y de la plataforma *software* utilizada. Un ejemplo concreto de esta solución es el *iPhone* [14] con *Google Maps* [15].
2. Solución basada en un dispositivo polivalente (tipo PDA o móvil) y mapas descargados y almacenados previo pago al proveedor de dichos mapas. Dicho proveedor puede ser el mismo que el del *software* o ser distinto, y los mapas pueden adquirirse en función de diferentes criterios. Aquí son tres los conceptos por los que se le cobra al usuario final: dispositivo, plataforma y mapas. Por tanto, esta solución suele ser más costosa. Un ejemplo concreto de esta solución es el *iPhone* con *software TomTom* [16] que se puede observar en la *Ilustración 2*.



*Ilustración 2 - TomTom operando sobre el Iphone*

3. Solución basada en dispositivo específico, generalmente un navegador GPS con capacidad de almacenamiento para guardar los mapas electrónicos. El dispositivo no puede realizar más funciones que la de navegación. Dispositivo, *software* y mapas se venden conjuntamente y plenamente integrados. La solución suele ser cara de base, y dependiente del tipo de mapas que incluya el navegador. Ejemplos de esta solución son los navegadores *TomTom*.

Como se ha comentado previamente, cada solución plantea un inconveniente. La solución N° 1 es la menos costosa para los usuarios finales, pero requiere de un enlace a datos para poder consultar los mapas en la *web*. Además, se suelen usar tecnologías adicionales al GPS “puro” (o *standalone* GPS) para abaratar el coste del dispositivo que requieren también enlaces a datos. Ese tipo de infraestructura no se encuentra en entornos aislados. La solución N° 2 es muy configurable pero a medida que se aproxima al modelo ideal para entornos aislados se encarece. Requiere de un receptor GPS que no emplee tecnologías basadas en enlaces a datos, y la adquisición de los mapas incrementa el TCO. La solución N° 3 es la más apropiada de las tres para funcionar en entornos aislados, pero plantea un coste demasiado elevado para el público general.

### 1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es desarrollar una cuarta solución basada en *software* que permita la navegación GPS con mapas electrónicos para entornos aislados, que adolezca de las limitaciones de las demás soluciones en cuanto a requisitos del *hardware* e infraestructura, y que tenga un coste accesible para un público general.

Esta solución deberá atacar el nicho de mercado dejado por las tres tendencias descritas anteriormente, y si es posible aprovechar sus debilidades para captar clientes.

Para ello, se va a seguir la estrategia general de reducir costes. La tecnología base será GPS, sin elementos adicionales que encarezcan el *hardware* o requieran infraestructura adicional. Dicho *hardware* no será un dispositivo dedicado, al tener estos un mayor coste, sino que se utilizará un dispositivo multipropósito como pueda ser una PDA o un móvil multifunción, que suelen ser más económicos. La plataforma *software* deberá permitir y facilitar el desarrollo y la instalación del producto, así como su difusión sin agravar los costes. Los mapas deberán obtenerse gratuitamente por parte del usuario, de forma tal que los pueda descargar de algún servidor de imágenes, y podrán ser almacenados en el dispositivo para evitar la necesidad de realizar enlaces a datos en los entornos aislados.

Por último, el *software* deberá ofrecer las funcionalidades necesarias para la creación y el seguimiento de rutas, creación de puntos de ruta, visualización de puntos de ruta sobre los mapas, etc.

A continuación se muestran las *quick goals* (metas rápidas) del proyecto:

- ✓ Solución de bajo coste.
- ✓ GPS “puro” sin necesidad de infraestructura adicional.
- ✓ Dispositivo móvil multiuso tipo PDA o móviles de tercera generación.
- ✓ Plataforma *software* accesible, que facilite desarrollo e instalación.
- ✓ Mapas *web*, gratuitos, y descargables de un servidor de imágenes.
- ✓ Funcionalidad de creación y seguimiento de rutas sobre los mapas.



### 1.3. Estructura del documento

Este documento está dividido en 8 capítulos, los cuales describen el trabajo realizado a lo largo de las siguientes etapas del proyecto: análisis, diseño, evaluación y paso a producción. No se han incluido en este documento aspectos concretos de codificación ni ningún fragmento del código fuente del programa. Tampoco se han desarrollado aspectos de mantenimiento, aunque si contiene un apartado de futuras mejoras para incluir en las subsiguientes versiones del producto.

No se ha seguido ninguna metodología concreta en el desarrollo del proyecto. Se ha considerado que debido a las características del proyecto (unipersonal, sencillo, ágil y enfocado en la reducción de costes) cualquier tipo de metodología aportaría menos ventajas que dificultades plantearía el trabajo extra que requeriría implementarla. No obstante, que no se haya seguido una metodología concreta no significa que no se hayan seguido buenas prácticas para mantener la evolución del código controlado: trazabilidad de requisitos, diseño de casos de uso y demás herramientas que facilitan la creación de un producto *software* de calidad. Todo este despliegue de trabajo se podrá observar a lo largo del documento.

El primer capítulo, “*Introducción*”, ofrece una visión global del proyecto, explicando los comienzos y la evolución del mercado de dispositivos GPS. Describe también los prototipos de solución existentes actualmente y donde va a encajar este producto. Además, define las estrategias generales del proyecto y las metas rápidas. Por último, incluye una relación de definiciones y acrónimos ampliamente utilizados en este documento junto con una descripción de cada uno de ellos.

El segundo capítulo, “*Estado del arte*”, muestra las bases teóricas y tecnológicas en las que se sustenta este proyecto. Reúne conceptos de geodesia, cartografía, informática, comunicaciones, etc.

El tercer capítulo, “*Análisis*”, se dedica a la identificación y clasificación de los requisitos del proyecto, así como a mostrar otras técnicas utilizadas tales como casos de uso. Finalmente se muestra además un esquema completo de la solución utilizada.

El cuarto capítulo, “*Diseño*”, presenta las principales decisiones tomadas acerca de las funcionalidades, así como los modelos *hardware* y *software*. Incluye los diseños arquitectónico y detallado, una descripción de la evolución de las interfaces de usuario y especificaciones de protocolos de comunicación utilizados en la solución.

El quinto capítulo, “*Pruebas*”, muestra la batería de pruebas realizada a la aplicación, identificando y clasificando cada prueba realizada y mostrando los resultados obtenidos.

El sexto capítulo, “*Presupuesto*”, realiza un desglose de los costes del proyecto y una planificación, así como una propuesta inicial de precio del producto. Incluye también una descripción del ciclo de vida del *software* utilizado, para conocer cómo ha evolucionado el proyecto desde la propuesta inicial.

El séptimo capítulo, “*Conclusiones y trabajos futuros*”, extrae los aspectos fundamentales aprendidos tras la finalización del proyecto. Además, contiene un conjunto de propuestas para mejorar la aplicación, implementables en futuras versiones del producto.

El octavo capítulo, “*Bibliografía*”, contiene los recursos fuente que se han consultado a lo largo del desarrollo del proyecto, tanto en forma de publicaciones como en forma de páginas *web*.

### 1.4. Definiciones y acrónimos

- **A-GPS:** “*Assisted Global Positioning System*”. Tecnología desarrollada para mejorar el funcionamiento del sistema GPS.
- **AJAX:** “*Asynchronous JavaScript And XML*”. Técnica de desarrollo *web* para crear aplicaciones interactivas mediante la combinación de tres tecnologías ya existentes: HTML, *JavaScript* y XML.
- **API:** “*Application Programming Interface*”. Conjunto de convenciones internacionales que definen cómo debe invocarse una determinada función de un programa desde una aplicación.
- **Bytecode:** Código intermedio entre el código fuente y el código máquina. Forma de salida utilizada por los implementadores de lenguajes para reducir la dependencia con respecto al *hardware* y facilitar su interpretación.
- **CLR:** “*Common Language Runtime*”. Motor en tiempo de ejecución del .NET *Framework*, es decir la parte del “entorno” que se encarga de ejecutar el código de los lenguajes del .NET *Framework*.
- **CTS:** “*Common Type System*”. Conjunto de reglas que han de seguir las definiciones de tipos de datos de los lenguajes .NET para que el CLR pueda ejecutarlos.
- **Datum:** Modelo matemático diseñado para que ajuste lo mejor posible parte del geoide o todo él. Se define por un elipsoide y se relaciona con un punto de la superficie topográfica para establecer el origen del *datum*.
- **DGPS:** “*Differential Global Positioning System*”. Sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada.

- **Disponibilidad selectiva:** Degradación intencionada de la señal GPS con el fin de evitar la excesiva precisión de los receptores GPS comerciales modernos, con objeto de impedir que el sistema fuese utilizado con fines no pacíficos por enemigos de los Estados Unidos.
- **ECEF:** "*Earth Centered Earth Fixed*". Sistema de coordenadas cartesiano, muy utilizado por parte del sistema GPS, que como su nombre indica está centrado en la Tierra y rota fijado a su superficie.
- **ED50:** "*European Datum 1950*". Antiguo sistema de referencia geodésico empleado en Europa. Fue sustituido por el sistema ETRS89. El elipsoide que utiliza es el Internacional de 1924 o de Hayford de 1909. El punto astronómico fundamental está en la torre de Helmert en la ciudad alemana de Potsdam.
- **EEUU:** "*Estados Unidos*".
- **Efecto Doppler:** Variación aparente de la longitud de onda de la luz o del sonido causada por el movimiento.
- **Elipsoide:** Sólido limitado por una superficie curva cerrada, cuyas secciones planas son todas elipses o círculos.
- **EMEA:** "*Europe, the Middle East and Africa*". Designación geográfica empleada principalmente por empresas para referirse a sus negocios en dicha región.
- **Entornos aislados:** Lugares o localizaciones en los cuales no existe infraestructura tecnológica que permita el acceso de dispositivos móviles a redes de datos o de telefonía.
- **Esferoide:** Elipsoide de revolución, superficie que se obtiene al girar una elipse alrededor de uno de sus ejes principales  $c$ .
- **GALILEO:** Sistema global de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea, con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS.
- **Geoide:** Cuerpo de forma casi esférica aunque con un ligero achatamiento en los polos (esferoide), definido por la superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre que coincide con el nivel medio del mar.
- **GIF:** "*Graphics Interchange Format*". Un formato de archivo gráfico que se utiliza comúnmente para mostrar imágenes indizadas por color en la *web*.



- **GPS:** "*Global Positioning System*". Sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave.
- **Grado sexagesimal:** El ángulo central subtendido por un arco cuya longitud es igual a  $1/360$  de la circunferencia.
- **GSM:** "*Groupe Special Mobile*". Estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital.
- **IL:** "*Intermediate Language*". Lenguaje de programación de nivel más bajo legible definido por la especificación *Common Language Infrastructure* y utilizado por *.NET Framework*.
- **IMS:** "*Internet Map Server*". Un servidor de cartografía digital que provee cartografía a través de la red tanto en modo vectorial como con imágenes. La especificación estándar para estos servidores es la *OGC Web Map Service*.
- **IVA:** "*Impuesto del Valor Añadido*". Impuesto general sobre el consumo que recae sobre todos los bienes y servicios utilizados en España, cualquiera que sea su origen, nacional o extranjero.
- **Java:** Lenguaje de programación orientado a objetos.
- **JavaScript:** Lenguaje de *scripting* basado en objetos no tipado y liviano, utilizado para acceder a objetos en aplicaciones. Principalmente, se utiliza integrado en un navegador web permitiendo el desarrollo de interfaces de usuario mejoradas y páginas *web* dinámicas.
- **JIT:** "*Just In Time*". Técnica para mejorar el rendimiento de sistemas de programación que compilan a *bytecode*, consistente en traducir el *bytecode* a código máquina nativo en tiempo de ejecución.
- **JPEG:** "*Joint Photographic Experts Group*". Además de ser un método de compresión, es a menudo considerado como un formato de archivo. JPEG es el formato de imagen más común utilizado por las cámaras fotográficas digitales y otros dispositivos de captura de imagen.
- **Minuto sexagesimal:** Unidad del ángulo plano equivalente a  $1/60$  de un grado sexagesimal.

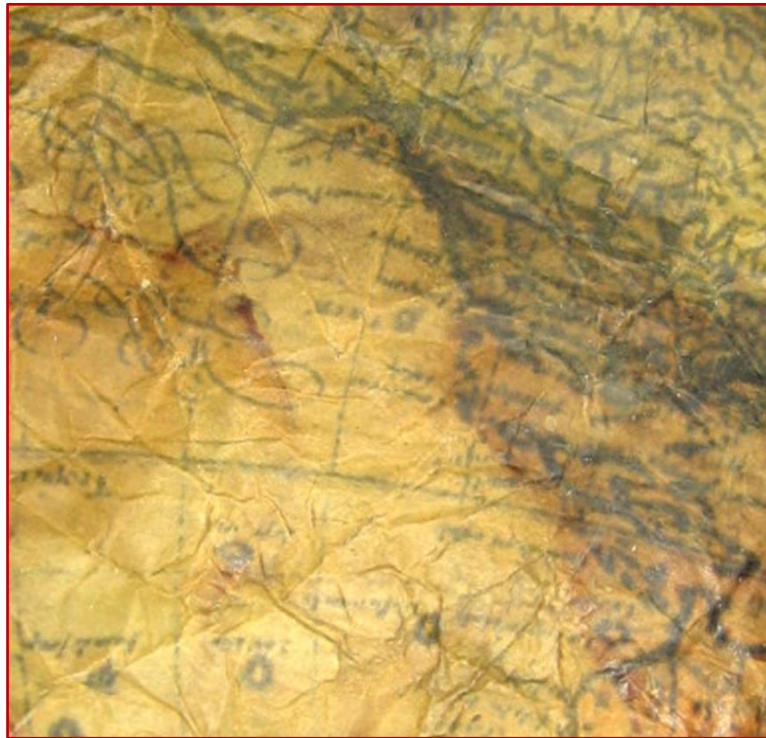
- **MVC:** "*Modelo Vista Controlador*". Estilo de arquitectura de *software* que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos.
- **NAVSTAR:** "*Navigation Signal Timing And Ranging*". Constelación de satélites que dan soporte al sistema GPS.
- **NMEA:** "*National Marine Electronics Association*". NMEA 0183 (o NMEA de forma abreviada) es una especificación combinada eléctrica y de datos entre aparatos electrónicos marinos y, también, más generalmente, receptores GPS.
- **OGC:** "*Open Geospatial Consistorium*". Consorcio cuyo fin es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la *web*.
- **PDA:** "*Portable Digital Assistant*". Computador de mano originalmente diseñado como agenda electrónica (calendario, lista de contactos, bloc de notas y recordatorios) con un sistema de reconocimiento de escritura. Hoy en día estos dispositivos pueden realizar muchas de las funciones que hace una computadora de escritorio: ver películas, crear documentos, juegos, correo electrónico, navegar por Internet, reproducir archivos de audio, etc.
- **PND:** "*Portable Navigation Device*". Dispositivo electrónico portátil que combina las capacidades de navegación y posicionamiento.
- **Radián:** La unidad de ángulo plano en el Sistema Internacional de Unidades. Representa el ángulo central en una circunferencia que subtiende un arco cuya longitud es igual a la del radio.
- **RAE:** "*Real Academia Española*". Institución española especializada en lexicografía, gramática, ortografía y bases de datos lingüísticas. Productora del diccionario de referencia de la lengua española.
- **Realidad aumentada:** Término que se usa para definir una visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta a tiempo real.
- **Segundo sexagesimal:** Unidad del ángulo plano equivalente a 1/60 de un minuto sexagesimal.
- **SIGPAC:** "*Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas*". Es una aplicación SIG que permite identificar geográficamente las parcelas declaradas por los agricultores y ganaderos, en cualquier régimen de ayudas relacionado

con la superficie cultivada o aprovechada por el ganado en todo el territorio español.

- **SOAP:** "*Simple Object Access Protocol*". Protocolo estándar que define cómo dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio de intercambio de datos XML.
- **TCO:** "*Total Cost of Ownership*". Método de cálculo diseñado para ayudar a los usuarios y a los gestores empresariales a determinar los costes directos e indirectos, así como los beneficios, relacionados con la compra de equipos o programas informáticos.
- **TTFF:** "*Time To First Fix*". Medida del tiempo requerido por un receptor GPS para adquirir las señales de los satélites y los datos de navegación, y calcular una posible solución de la posición actual.
- **UML:** "*Unified Modeling Language*". Lenguaje de modelado de sistemas de *software* utilizado para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema.
- **USB:** "*Universal Serial Bus*". Puerto que sirve para conectar periféricos a un ordenador.
- **UTM:** "*Universal Transverse Mercator*". Sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia.
- **Vértice geodésico:** Señal que indica una posición exacta y que forma parte de una red de triángulos con otros vértices geodésicos para hacer la medición de la tierra.
- **WGS84:** "*World Geodetic System 1984*". Sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas.
- **WMS:** "*Web Map Service*". Estándar que provee una interfaz HTTP para solicitar mapas de datos referenciados espacialmente en forma de imágenes digitales, de forma dinámica a partir de información geográfica.

- **WPF:** "*Windows Presentation Foundation*". Es una tecnología de *Microsoft*, presentada como parte de *Windows Vista*. Permite el desarrollo de interfaces de interacción en *Windows* tomando las mejores características de las aplicaciones *Windows* y de las aplicaciones *web*.





## **ESTADO DEL ARTE**

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Geodesia

#### 2.1.1. Introducción

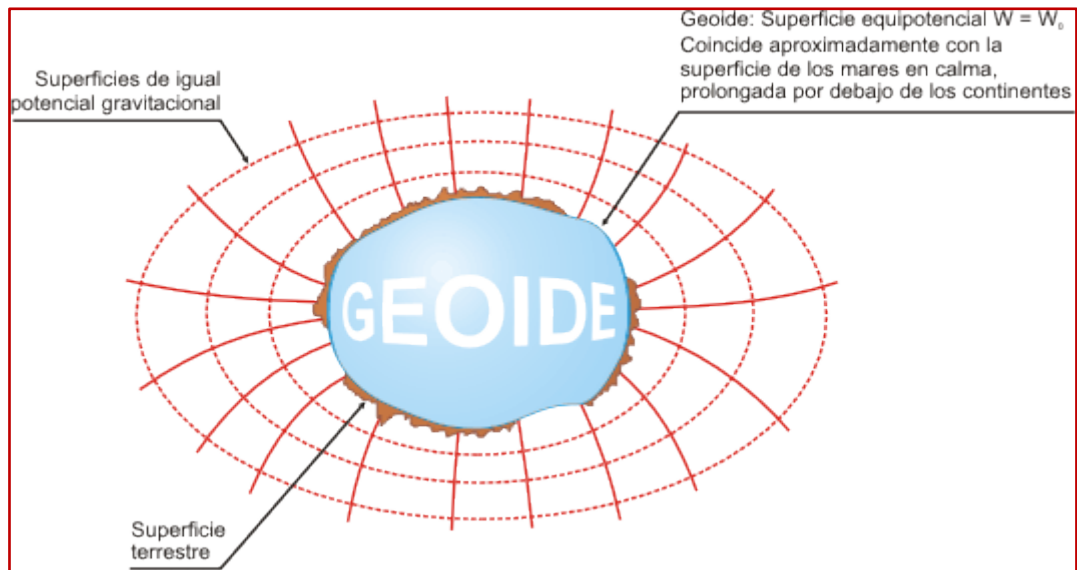
La geodesia es, según la definición de la RAE, la ciencia matemática que tiene por objeto determinar la figura y magnitud del globo terrestre o de gran parte de él, y construir los mapas correspondientes [18].

Otra definición más extensa publicada por la universidad estatal de Ohio es la siguiente: «Ciencia interdisciplinaria que utiliza sensores remotos transportados en satélites espaciales y plataformas aéreas y mediciones terrestres para estudiar la forma y las dimensiones de la Tierra, de los planetas y sus satélites así como sus cambios; para determinar con precisión su posición y la velocidad de los puntos u objetos en la superficie u orbitando el planeta, en un sistema de referencia terrestre materializado, y la aplicación de este conocimiento a distintas aplicaciones científicas y técnicas, usando la matemática, la física, la astronomía y las ciencias de la computación» [17].

Como puede observarse, esta ciencia introduce conceptos muy relacionados con la cartografía, el estudio de rutas, el uso de sistemas de coordenadas y del GPS. Representa la base teórica sobre la que se sustenta el proyecto, y por ello se describen a continuación los conceptos relacionados.

#### 2.1.2. Geoide

El globo terráqueo, que frecuentemente se representa de forma simplificada mediante un elipsoide, tiene en realidad forma de geoide. Un geoide es un cuerpo casi esférico, con un ligero achatamiento por los polos. El importante matiz, y principal motivo por el cual geoide y elipsoide no son conceptos iguales, es que el geoide está definido por la superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre, y el campo gravitatorio terrestre no es uniforme. En cambio, el elipsoide está definido por una ecuación matemática que sí genera un cuerpo uniforme.



*Ilustración 3 - Esquema del geoide [19]*

La *Ilustración 3* muestra una vista esquemática del concepto de geoide. El planeta está constituido por multitud de materiales los cuales tienen diferentes densidades. Además, dichos materiales se desplazan por el interior del planeta en forma de flujos de lava. La propia superficie terrestre no es uniforme, sino que presenta llanuras, montañas, depresiones, etc. Por todo ello, la distribución de masas del planeta no es homogénea, como se muestra en la *Tabla 3*.

Densidades relativas de materiales	
Material	Densidad (kg / m <sup>3</sup> )
Agua	1030
Sedimentos	2000 a 2005
Granito	2500 a 2800
Flujos de lava	2700
Basalto	2700 a 3100
Peridotita	3300 a 3400

*Tabla 3 - Densidades relativas de materiales de la superficie terrestre [8]*

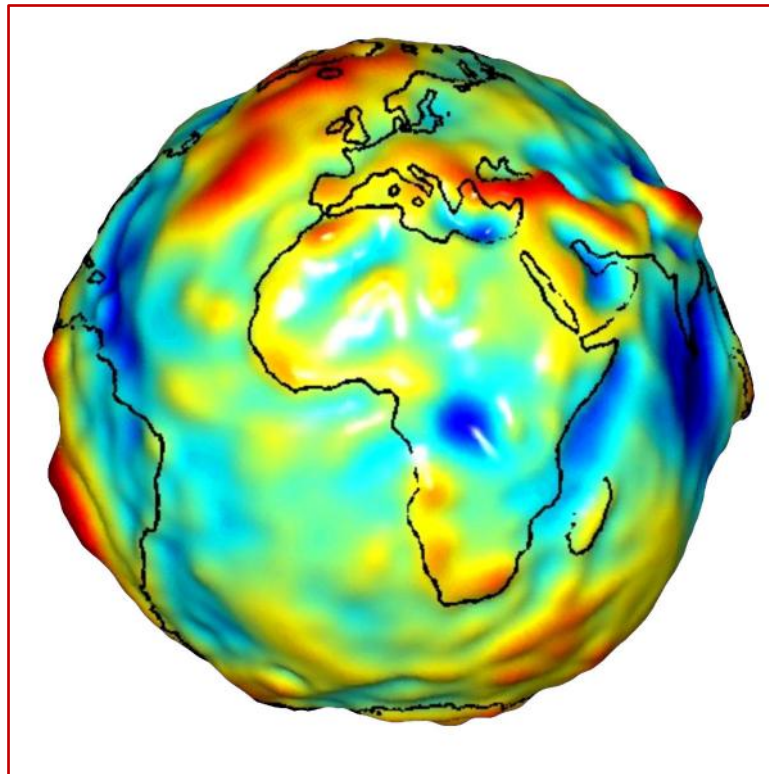
Otro motivo resulta de la velocidad de rotación del planeta, cuya fuerza centrífuga provoca el achatamiento de los polos. La distancia desde la superficie hasta el centro de la tierra es menor en los polos que en el ecuador lo cual provoca consecuentemente anomalías en las fuerzas gravitacionales.

Por último, comentar que el campo gravitacional también sufre alteraciones debido al Sol, la Luna y los demás cuerpos celestes. Un ejemplo claro de este hecho son



las mareas, que son un fiel reflejo del desplazamiento de la superficie equipotencial del campo gravitatorio cuando este se ve influido por un cuerpo celeste como es la Luna.

Como resultado de estos y muchos otros factores, el geoide es variable y muy difícil de representar con exactitud. Se aleja del concepto elipsoidal cuya superficie es uniforme y adquiere el aspecto de una pelota deformada como la mostrada en la *Ilustración 4*. Coincide con el nivel medio del nivel del mar ajustado por mínimos cuadrados, ya que como se ha visto, incluso el nivel del mar es variable.



*Ilustración 4 - Geoide en Europa y África [8]*

### 2.1.3.Elipsoide

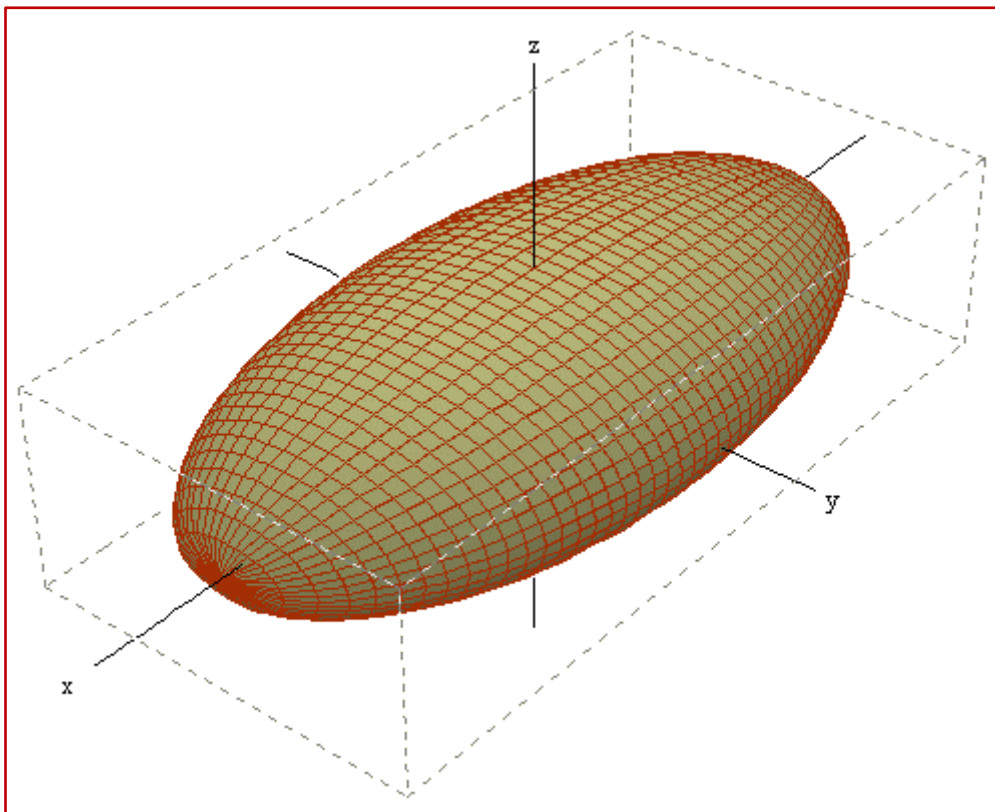
Puesto que el geoide es una forma realmente complicada, difícil de precisar e inmanejable a la hora de trabajar con ella en cualquier aplicación práctica (como puedan ser cartografía o navegación), la geodesia matemática intenta lograr una aproximación más adecuada para su tratamiento en aplicaciones prácticas: el elipsoide.

Un elipsoide es una superficie curva cerrada cuyas tres secciones ortogonales principales son elípticas (*Ilustración 5*). La ecuación del elipsoide es la siguiente:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{c^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

*Ecuación 1 – Elipsoide*

Donde  $a$ ,  $c$  y  $b$  son las longitudes de los semiejes del elipsoide respecto de los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ , siendo números reales positivos.



*Ilustración 5 - Elipsoide con sus tres semiejes  $a$ ,  $b$  y  $c$  desiguales [20]*

Al aproximar el globo terráqueo a este cuerpo, se asume que dos de los semiejes tienen la misma longitud, quedando el cuerpo como un esferoide o elipsoide de revolución, caso particular de un elipsoide. Este cuerpo se obtendría también al girar una elipse alrededor de uno de sus ejes principales. Puesto que en todas las aproximaciones se asume que el radio ecuatorial es constante, podemos simplificar la ecuación del elipsoide asumiendo que  $a = c$ .

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

Ecuación 2 - Elipsoide con  $a = c$

Por tanto, se puede definir cualquier elipsoide de este tipo en base a sus dos parámetros  $a$  y  $b$ , donde  $a$  es el semieje mayor (radio horizontal) y  $b$  es el semieje menor (radio vertical). La *Ilustración 6* muestra la obtención del elipsoide a partir de los dos parámetros.



*Ilustración 6 - Elipsoide a partir de los dos semiejes [19]*

Se ha mostrado como se puede modelizar la compleja y variable figura del geoide mediante un cuerpo relativamente sencillo como es un elipsoide definido mediante dos parámetros y una ecuación. No obstante, esta aproximación introduce un error al establecer correspondencias entre coordenadas que se establezcan en la figura real y en la figura teórica. La *Ilustración 7* ilustra las diferencias entre geoide y elipsoide a nivel de superficie.

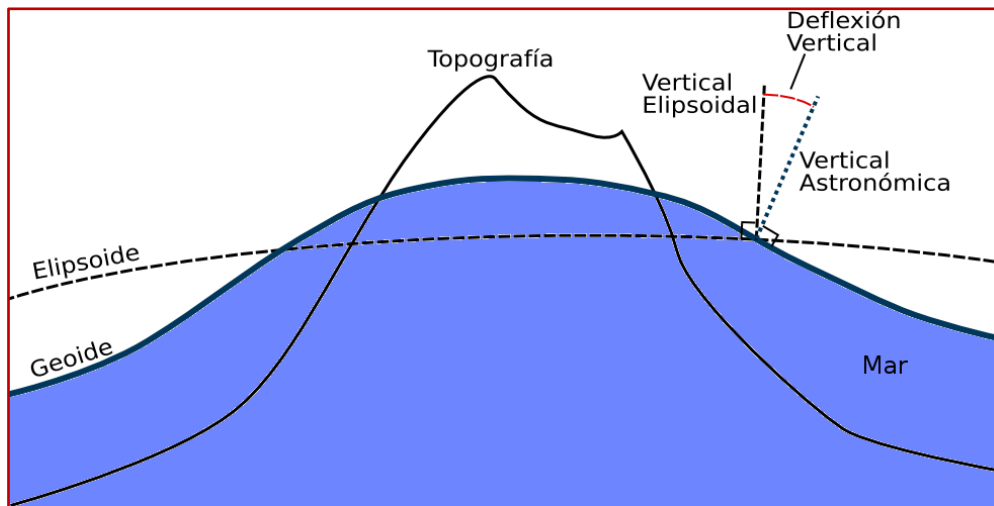


Ilustración 7 - Diferencias entre geoide y elipsoide [8]

Estas diferencias plantean dificultades especialmente para la cartografía y el uso de mapas. En primer lugar, la vertical utilizada como referencia por todos los seres de La Tierra, determinada por el campo gravitatorio terrestre, puede no coincidir con la vertical elipsoidal, lo cual plantearía incongruencias entre altitudes similares situadas en diferentes puntos del planeta. En segundo lugar, el nivel del mar, utilizado siempre como referencia para una altitud de 0 metros, puede estar situado por encima o por debajo de la altitud elipsoidal 0, con lo cual, diferentes puntos situados a la orilla del mar tendrían diferentes altitudes. En tercer lugar, al proyectar la forma del elipsoide sobre un plano como se hace en el sistema de coordenadas UTM (el cual se describirá posteriormente) la no uniformidad del geoide provocaría que áreas del plano de igual tamaño representasen mayor o menor superficie del globo terráqueo.

Por todo ello, resulta conveniente "encajar" el elipsoide de forma tal que su superficie sea tangente a la superficie del geoide, para que el sistema de coordenadas coincida con la realidad. No obstante, debido a la forma irregular del geoide, esa tangencia solo se puede lograr en un punto singular o en una zona relativamente reducida llamada zona de ajuste. En dicho área, las superficies del geoide y del elipsoide son prácticamente coincidentes. Cuanto más cerca de dicho área nos situemos, más coincidentes serán las referencias elipsoidales con la realidad. Cuanto más nos alejemos, más pronunciadas serán las diferencias.

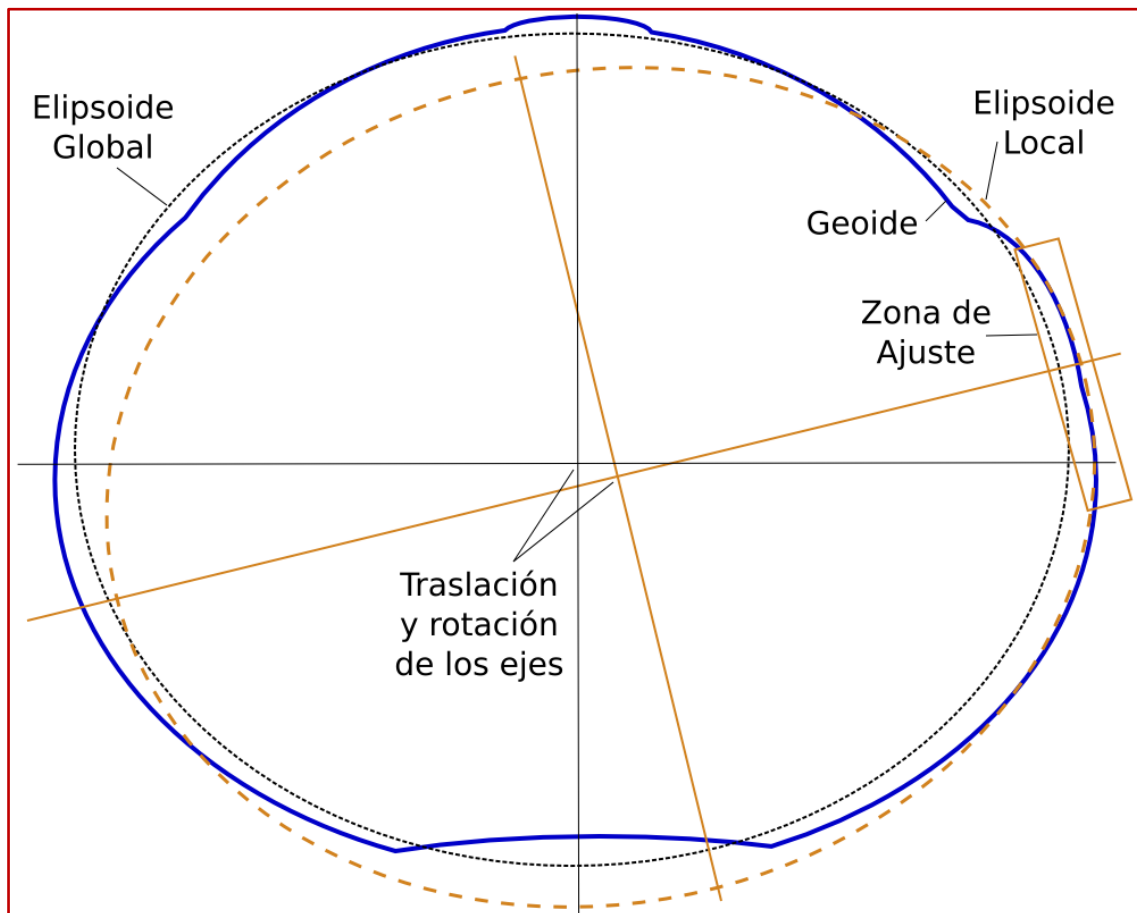
Existen dos alternativas a la hora de situar el elipsoide en relación al globo terráqueo, en función de si se desea que el elipsoide realice una mejor aproximación de coordenadas locales, o por el contrario se desea que el elipsoide se adapte mejor a la totalidad del globo terráqueo.

1. La primera alternativa consiste en seleccionar un punto de la superficie del geoide y hacerlo coincidir con un punto de la superficie del elipsoide. A dicho punto singular que se corresponde con el punto de tangencia entre ambas figuras

y que anula la deflexión vertical haciendo coincidir la vertical elipsoidal con la vertical astronómica se le conoce como punto astronómico fundamental.

2. La otra alternativa es plantear que el elipsoide posea la mayor proximidad a la figura de la tierra en su conjunto. Para ello, se hace coincidir el centro del elipsoide con el centro de gravedad de la tierra, o lo que es lo mismo, con el centro del geoide. Además, se hace coincidir el plano ecuatorial del elipsoide con el plano del ecuador terrestre.

La *Ilustración 8* ilustra las diferencias entre elipsoides locales (del primer tipo) y elipsoides globales del segundo tipo.



*Ilustración 8 - Elipsoide local y elipsoide global [9]*

Como puede observarse, cada tipo de elipsoide tiene sus ventajas y sus inconvenientes, y su uso resulta más apropiado en función de diferentes objetivos.

Los elipsoides locales logran mejores aproximaciones en la zona de ajuste y zonas adyacentes, logrando un grado de precisión que los globales no pueden alcanzar. No obstante, conforme nos alejamos de la zona de ajuste el error aumenta, y las

referencias dejan de ser válidas. Por tanto un elipsoide local solo puede utilizarse en un ámbito local.

Los elipsoides globales; en cambio, resultan menos precisos que sus homólogos locales cerca del área de ajuste, pero se adaptan mejor a la forma general del globo terráqueo. Por ello pueden ser utilizados en un ámbito mucho más grande.

Por tanto, para construir un sistema de referencia en el globo terráqueo a partir del cual trazar coordenadas se necesitan dos cosas:

- Elipsoide de referencia construida a partir de los parámetros  $a$  y  $b$ .
- Punto astronómico fundamental donde aplicar dicho elipsoide, en caso de utilizar un elipsoide local. Si se utiliza un elipsoide global, el centro del elipsoide coincidirá con el centro de gravedad de la tierra.

Estos sistemas de referencia se conocen como *datums* cartográficos. En base a si el elipsoide utilizado es un elipsoide global o un elipsoide local, los *datums* pueden ser *datums* geocéntricos o *datums* locales respectivamente.

#### 2.1.4. *Datums* de referencia

Existen por tanto multitud de *datums* que se utilizan frecuentemente en todo el planeta. Debido a la divergencia progresiva entre las coordenadas del *datum* y las coordenadas reales sobre la superficie de la tierra conforme aumenta la distancia respecto al punto astronómico fundamental, muchas áreas geográficas utilizan un *datum* local propio que se adapta mejor a sus necesidades y que no suele ser aplicable en otras partes del mundo.

Por otra parte, el intento de unificar criterios geográficos por parte de la comunidad internacional ha contribuido a la creación de *datums* geocéntricos que puedan aplicarse en áreas mucho más grandes o incluso en el planeta entero. La reticencia de los países a abandonar los sistemas heredados provoca que muchos de ellos utilicen simultáneamente más de un *datum*.

Como consecuencia de todo ello, existe una lista tremendamente extensa de *datums* que son utilizados oficialmente por diferentes países en diferentes partes del mundo en sus correspondientes áreas cartográficas. A continuación se muestra una lista de los *datums* más relevantes en todo el mundo:

- **ED50. *European Datum 1950*.** Es el antiguo sistema de referencia geodésico local empleado en Europa. Surgió como resultado de la unificación de los sistemas de referencia europeos llevada a cabo por el ejército de los Estados Unidos después de la segunda guerra mundial. En España ha sido el sistema oficial en la Península y Baleares hasta el año 2008, momento en el que se adoptó como oficial del *datum* ETRS89. No obstante, se sigue utilizando en multitud de aplicaciones. Utiliza el elipsoide de Hayford definido en 1909. El

punto astronómico fundamental está situado en la torre de Helmert, en la ciudad alemana de Postdam.

- **ETRS89.** *European Terrestrial Reference System 1989.* Es el sistema geocéntrico de referencia oficial en Europa, ligado a la parte estable de la placa continental europea. Utiliza el elipsoide GRS80, el cual es completamente equivalente a nivel de usuario con el elipsoide WGS84, utilizado en el *datum* del mismo nombre. Los semiejes mayores son iguales y la diferencia entre semiejes menores es del orden de decimas de milímetros. Por ello, ambos sistemas son compatibles entre sí
- **NAD27 y NAD83.** *North American Datum 1927/1983.* Son los sistemas más utilizados en Norteamérica. El *datum* de 1927 es local, utiliza el elipsoide de Clarke y toma como punto astronómico fundamental una estación base en Meades Ranch, en el estado de Kansas. El *datum* de 1983 es geocéntrico y utiliza el elipsoide GRS80, por ello también es equivalente al WGS84. Ambos sistemas son utilizados debido a las ventajas de cada uno de ellos, aunque conforme avanza la tecnología el criterio global se va imponiendo y la tendencia marca la predominancia del NAD83.
- **WGS84.** *World Geodetic System 1984.* Es el sistema de referencia más utilizado a nivel mundial. Supone un estándar para uso en cartografía, geodesia y navegación, que no solo incluye un *datum*, sino que define un marco completo de referencia para las áreas antes mencionadas incluyendo una definición del geoide y un sistema de coordenadas común. Por ello, el *datum* de referencia es geocéntrico, ya que debe ser aplicable a nivel mundial. El WGS84 es el sistema estándar utilizado por el sistema GPS. Por ello, todas las coordenadas GPS del mundo están expresadas utilizando este sistema como referencia.

La existencia de múltiples *datums* con carácter oficial plantea una divergencia de criterios a la hora de establecer las coordenadas de puntos concretos en la superficie terrestre. Puesto que dos *datums* diferentes utilizan distintos parámetros, las coordenadas de un punto singular no serán las mismas en cada uno de ellos.

Un ejemplo de este hecho se observa en las coordenadas del vértice geodésico de Carbonera mostradas en la *Tabla 4*. El vértice de Carbonera está situado en el municipio de Madridejos, en la provincia de Toledo. Sus coordenadas son medidas y archivadas por el Instituto Geográfico Nacional, tanto en el *datum* ED50 como en el ETRS89. Como se puede observar, entre las coordenadas de ambos sistemas hay una diferencia de 235 metros.

Vértice de Carbonera				
Datum	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM. Huso 30	
	Longitud	Latitud	X	Y
ED50	-3° 35' 53"	39° 32' 51"	448611.14	4377788.61
ETRS89	-3° 35' 57"	39° 32' 46"	448500.79	4377580.93

Tabla 4 - Coordenadas del vértice de Carbonera en ED50 y WGS84



### 2.1.5. Sistemas de coordenadas

Una vez vistos los diferentes sistemas de referencia que podemos utilizar para representar coordenadas en la superficie terrestre, se procede a describir los diferentes sistemas de coordenadas que se pueden utilizar para representar dichas coordenadas.

Los sistemas de coordenadas representan un concepto transversal al de *datum*. Un sistema de coordenadas determina la forma de representación de las coordenadas de los diferentes puntos en un sistema de referencia, como puede ser un *datum* formado por el elipsoide teórico y su posición relativa al geoide. De esta forma, diferentes *datums* se pueden representar mediante el mismo sistema de coordenadas, y diferentes sistemas de coordenadas pueden tener como referencia el mismo *datum*.

En el ejemplo visto en la *Tabla 4*, observamos como un punto del geoide, el vértice de Carbonera, es representado de 4 formas diferentes mediante la combinación de dos *datums* y dos sistemas de coordenadas. Como puede observarse, el mismo punto expresado en el mismo sistema de coordenadas, pero con un sistema de referencia distinto, tiene diferentes coordenadas.

Se van a describir los 3 sistemas de coordenadas más utilizados en la actualidad:

- Sistema de coordenadas geográficas.
- Sistema de coordenadas proyectadas UTM.
- Sistema de coordenadas cartesianas ECEF.

### 2.1.6. Coordenadas geográficas

En el sistema de coordenadas geográfico se utilizan dos coordenadas angulares, latitud y longitud, para expresar una posición sobre la superficie del elipsoide. Ambas coordenadas se expresan en grados sexagesimales, tanto en su notación decimal como en su notación sexagesimal.

La latitud representa el ángulo del punto sobre la superficie terrestre con respecto al plano ecuatorial perpendicular al eje de rotación de la tierra, representado por el semieje menor del elipsoide. Las líneas de latitud se denominan paralelos, que forman planos paralelos al plano ecuatorial.

- El plano ecuatorial tiene una latitud de  $0^\circ$ .
- El polo norte geográfico tiene una latitud de  $90^\circ$  positivos o  $90^\circ$  N.
- El polo sur geográfico tiene una latitud de  $-90^\circ$  (negativos) o  $90^\circ$  S.
- Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.

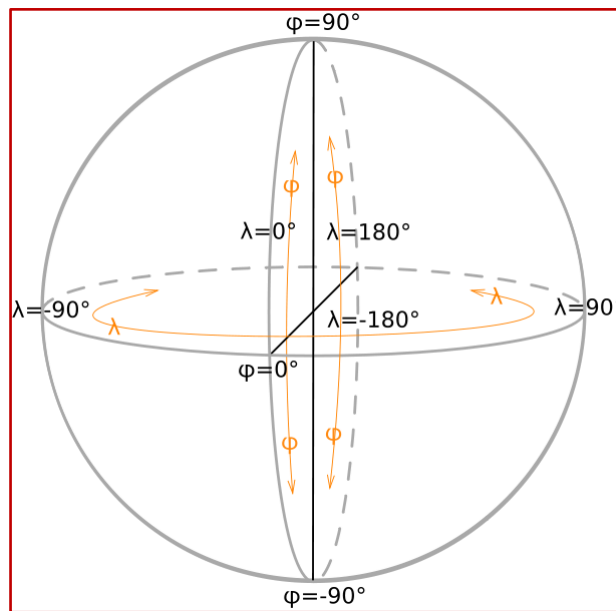
La longitud representa el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la tierra. Las líneas de longitud se llaman meridianos y van desde el polo norte al polo sur.



- Se adopta por convenio un meridiano que marca la longitud  $0^\circ$ , generalmente el meridiano de Greenwich.
- El valor de longitud va desde  $-180^\circ$  hasta  $180^\circ$ .
- Las longitudes al oeste del meridiano de Greenwich son negativas, y al este del meridiano son positivas.
- Todos los puntos ubicados en el mismo meridiano tienen la misma longitud.

Combinando estos dos ángulos, se puede expresar la posición de cualquier punto sobre la superficie del elipsoide. Un punto con latitud  $39,9^\circ$  y longitud  $76,6^\circ$  será representado por un vector que parte del centro del elipsoide con un ángulo de  $39,9^\circ$  con respecto al plano ecuatorial y un ángulo de  $76,6^\circ$  respecto al meridiano 0. A estas dos coordenadas se les puede añadir opcionalmente una tercera, altitud, que indique la distancia entre la posición y la superficie del elipsoide prolongando la longitud de dicho vector.

Por convenio, a la latitud se la designa con la letra griega  $\varphi$  (phi), y a la longitud con la letra griega  $\lambda$  (lambda). La *Ilustración 9* muestra claramente el concepto de coordenadas geográficas.



*Ilustración 9 - Coordenadas geográficas [21]*

Como antes se ha comentado. Las coordenadas pueden representarse mediante grados sexagesimales en notación decimal o en notación sexagesimal, en la cual se incluyen minutos y segundos sexagesimales:

- 1 ángulo recto =  $90^\circ$  (grados sexagesimales).
- 1 grado sexagesimal =  $60'$  (minutos sexagesimales).

- 1 minuto sexagesimal = 60" (segundos sexagesimales).

La fórmula para trasladar coordenadas expresadas en notación decimal a notación sexagesimal es la siguiente:

$$Gd = G + \frac{M}{60} + \frac{S}{60}$$

*Ecuación 3 - Grados decimales a grados, minutos y segundos*

Siendo  $Gd$  los grados en notación decimal,  $G$  los grados en notación sexagesimal,  $M$  los minutos y  $S$  los segundos. La **Tabla 5** muestra un ejemplo de coordenadas expresadas tanto en notación decimal como en notación sexagesimal:

Coordenadas geográficas en diferentes notaciones	
Grados decimales	Grados, minutos y segundos
3,801973306	3° 48' 06,7439''
43,4884075	43° 29' 18,2670''
-3,801873264	-3° -48' -6,64375''

*Tabla 5 - Coordenadas geográficas en notación decimal y sexagesimal*

### 2.1.7. Coordenadas UTM

Previamente a la descripción del sistema de coordenadas UTM, se procede a explicar el concepto de proyección cartográfica.

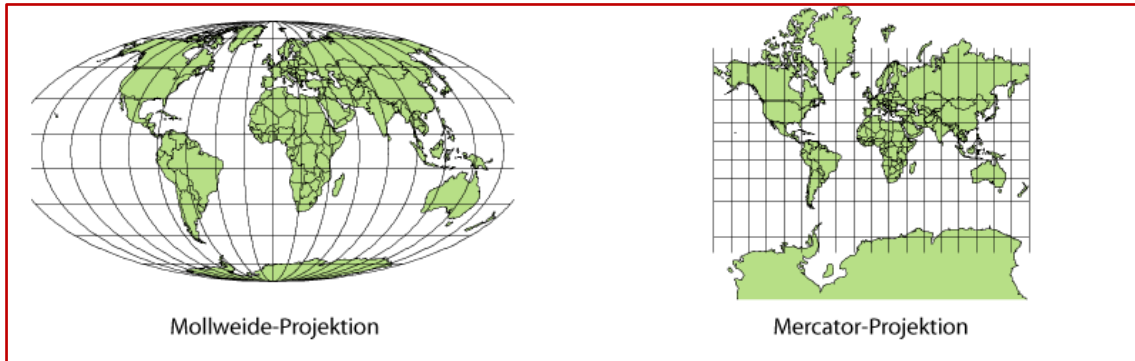
Una proyección cartográfica intenta establecer una relación entre la superficie curva del planeta y una superficie plana como pueda ser la de un mapa. En los sistemas de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican con las coordenadas X e Y en una malla, con el origen situado en el centro de la malla.

Puesto que la adaptación matemática de la superficie de un elipsoide a un plano no es inmediata, las proyecciones cartográficas plantean anomalías:

- Puede no conservar los ángulos de la malla formada. A las proyecciones que si conservan los ángulos se les llama proyecciones conformes.
- Puede no conservar las áreas de las cuadrículas de la malla formada. A las proyecciones que si conservan las áreas se les denomina proyecciones equivalentes.

Es deseable que una proyección cartográfica cumpla ambas propiedades, desgraciadamente ambas propiedades son incompatibles entre sí. La **Ilustración 10**

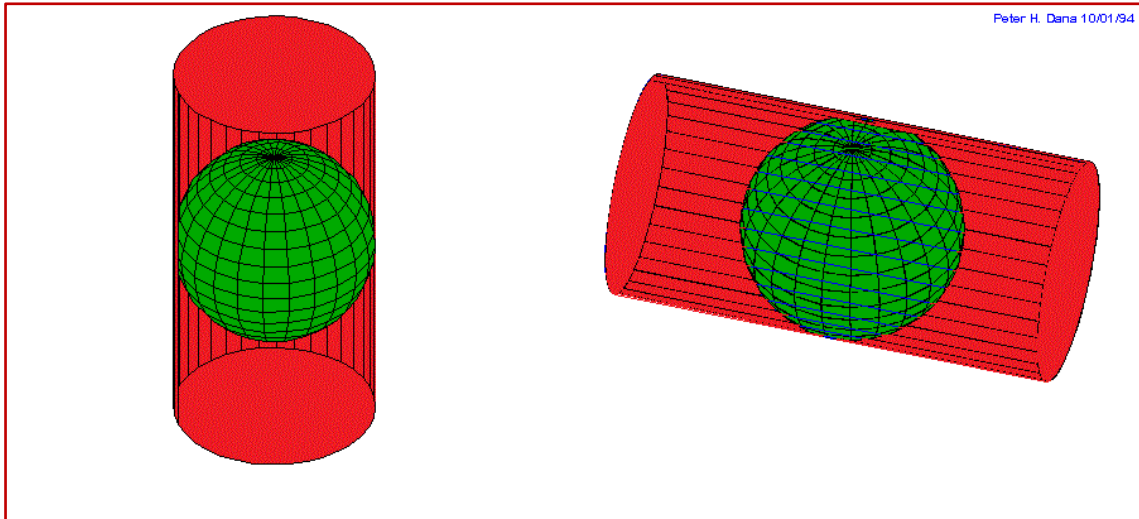
muestra el contraste entre una proyección conforme y una proyección equivalente. Obsérvese el desproporcionado tamaño entre Groenlandia y África en la proyección conforme.



*Ilustración 10 - Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme) [22]*

Un subtipo de proyección cartográfica es la llamada proyección cilíndrica. En la proyección cilíndrica se utiliza un cilindro para proyectar la imagen de la esfera terrestre. El cilindro se sitúa tangente al elipsoide, coincidiendo el eje del cilindro con el eje polar. Posteriormente se desenrolla el cilindro representando el mapa del globo en un rectángulo. Las líneas horizontales de la malla del mapa las forman los paralelos y las líneas verticales de la malla están compuestas por los meridianos. Debido a las características de la proyección, en latitudes más altas las latitudes están separadas por mayor distancia. La proyección cilíndrica es, por tanto, una proyección conforme.

El sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversal Mercator*) utiliza como base la proyección cilíndrica, aunque se construye de una forma diferente. En UTM el globo terráqueo se proyecta sobre un cilindro, con la diferencia de que la posición de este varía con respecto a la proyección cilíndrica normal. En la proyección UTM el eje del cilindro es transversal al plano de los polos del globo. La *Ilustración 11* muestra las diferencias entre la proyección cilíndrica normal y la proyección cilíndrica transversal.



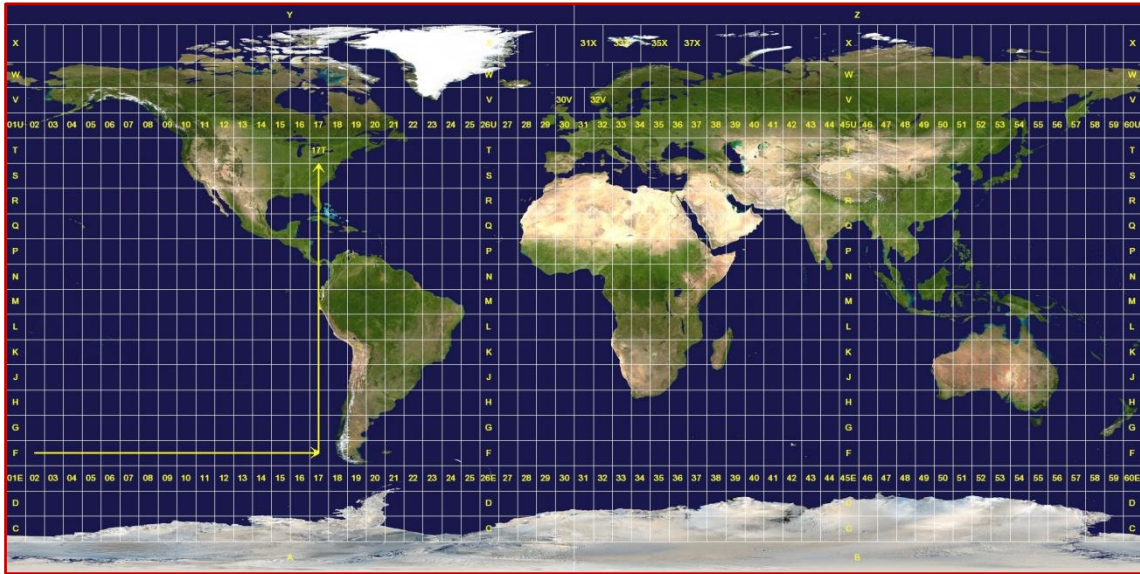
*Ilustración 11 - Proyecciones cilíndricas normal y transversal [23]*

En la proyección cilíndrica normal, las zonas con latitudes muy altas se proyectaban sobre el extremo del cilindro o directamente no se proyectaban sobre este. Como consecuencia esas zonas quedaban muy distorsionadas (como se ha comentado antes con el caso de Groenlandia y África) o directamente no se reflejaban en el mapa. En el caso de la proyección transversa, debido a la posición transversal de los ejes del cilindro y polar del elipsoide, las zonas más distorsionadas son las más alejadas del meridiano central. Esto resulta poco práctico puesto que se dispondría de un sistema válido solamente para una parte muy reducida del globo terráqueo.

Para solucionar este problema, UTM divide el planeta en 60 husos de  $6^\circ$  de longitud cada uno, y repite la proyección una vez por cada huso tomando como meridiano central el meridiano centrado en dicho huso. Posteriormente se concatenan las proyecciones de cada uno de los husos y se obtiene un plano rectangular sin la distorsión asociada a los extremos del cilindro de proyección.

Puesto que los paralelos se van separando a medida que la proyección se aleja del ecuador, solo se representa el área del planeta situada entre los paralelos  $80^\circ\text{N}$  y  $80^\circ\text{S}$ , de igual forma que las longitudes se dividen en franjas llamadas husos, las latitudes se dividen en franjas llamadas zonas, cada una de  $8^\circ$  de latitud que se denominan con letras desde la C hasta la X, excluyendo las letras "I" y "O".

Por tanto, el mapa UTM, mostrado en la *Ilustración 12*, está formado por una malla de cuadrículas de  $6^\circ$  de longitud y  $8^\circ$  de latitud. Las cuadrículas se numeran horizontalmente por números del 1 al 60 y verticalmente por letras de la C hasta la X excluyendo las letras "I" y "O". Las cuadrículas de las latitudes extremas representan más área debido a la proyección cilíndrica utilizada, y los polos quedan fuera de la representación UTM.



*Ilustración 12 - Zonas y husos UTM [24]*

Las coordenadas UTM se representan mediante un huso y unos valores de X e Y que permiten ubicar la posición determinada dentro de dicho huso. Los valores X e Y representan el desplazamiento horizontal y vertical respectivamente dentro de la cuadrícula determinada por el huso en metros.

El meridiano central del huso marca el origen de las coordenadas X. Las coordenadas situadas a la izquierda del meridiano serían negativas y las situadas a la derecha positivas. No obstante, es preferible evitar las coordenadas negativas por lo que a todas las coordenadas se les realiza un ajuste de 500.000 metros. De esta manera, el meridiano central, que tendría un valor X de 0 metros, tiene un valor de 500 km.

Para las coordenadas Y se realiza un procedimiento similar. El origen de las coordenadas Y es el ecuador. Las coordenadas Y al sur del ecuador adoptarían un valor negativo. Para evitar esto, a las coordenadas Y al sur del ecuador se les suma el valor de 10.000.000. A las coordenadas Y al norte del ecuador no se les realiza esta modificación. El huso es una figura cuya dimensión vertical es mucho mayor que la horizontal, por ello las coordenadas Y suelen tener mayor magnitud que las coordenadas X, y por ello los ajustes de los valores de las X y de las Y son de distinta magnitud.

Debido a la modificación realizada a las coordenadas Y para evitar valores negativos, se debe conocer en todo momento en qué hemisferio estamos situados cuando se está trabajando con el sistema de coordenadas UTM. Una misma coordenada Y puede referirse a dos puntos, uno en cada hemisferio.

Finalmente podemos enunciar que una posición en el sistema de coordenadas UTM se compone de los siguientes campos:

- Coordenada X: Desplazamiento horizontal respecto al meridiano central del Huso. Balanceado.
- Coordenada Y: Desplazamiento vertical respecto al ecuador. Balanceado.
- Huso: Huso horario (1-60).
- Hemisferio: Norte o sur.

Cabe destacar que el sistema UTM no representa la altitud, ya que realiza una proyección en 2D. Por tanto, todos los puntos se refieren a la superficie terrestre, sin importar si esta está a mayor o menor altitud con respecto al nivel del mar o al elipsoide de referencia.

#### **2.1.8. Coordenadas ECEF**

Las coordenadas ECEF (*Earth Centered Earth Fixed*) son un tipo de coordenadas basadas en un sistema cartesiano tridimensional. Las coordenadas en este sistema se componen de tres valores X, Y y Z correspondientes a los tres ejes ortogonales de un sistema cartesiano.

El punto inicial (0, 0, 0) se sitúa en el centro del elipsoide, y por ello se dice que el sistema es *Earth Centered*. El eje Z coincide con el eje rotacional del elipsoide, por ello apunta al norte. El eje X intersecta al elipsoide en el punto de coordenadas geográficas 0° longitud, 0° latitud, y por tanto el eje Y intersecta al elipsoide en el punto 90° longitud, 0° latitud. La *Ilustración 13* muestra el sistema ECEF así como su relación con las coordenadas geográficas:



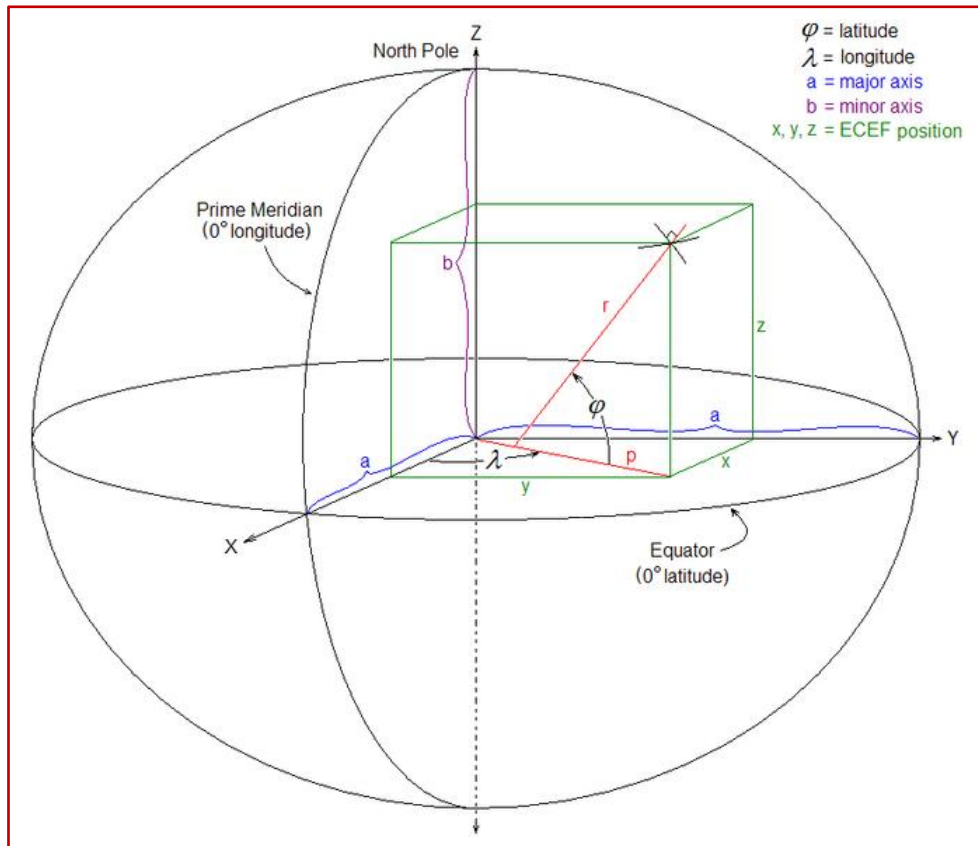


Ilustración 13 - Coordenadas ECEF y su relación con las coordenadas geográficas [25]

Una característica intrínseca de este sistema, (así como de los dos anteriores) consiste en que es totalmente independiente de los movimientos del planeta. Los ejes de coordenadas están referidos al centro de la tierra, por lo cual se independiza el sistema del movimiento de traslación, y al punto de longitud  $0^\circ$  y latitud  $0^\circ$ , que al estar basado en el plano ecuatorial y a un meridiano de referencia (generalmente Greenwich), rota junto con el resto del planeta. De ahí la segunda parte del acrónimo (*Earth Fixed*).

Este sistema de coordenadas no es frecuentemente utilizado en representaciones cartográficas o en aplicaciones de navegación, utilizándose los sistemas anteriormente descritos para dichos usos. No obstante, este sistema si se utiliza en el procedimiento para trasladar coordenadas entre distintos *datums*, un proceso que se describe en el apartado 2.1.10. *Trasformaciones entre distintos datums*.

### 2.1.9. Transformaciones entre sistemas de coordenadas

Como se ha podido observar, existen varios tipos de sistemas de coordenadas utilizados actualmente. Si se desea combinar aplicaciones o sistemas que trabajen en diferentes sistemas de coordenadas, es conveniente disponer de una transformación que convierta coordenadas de un sistema en otro.

Se va a describir a continuación procedimientos utilizados para la conversión de coordenadas geográficas en UTM y viceversa, así como para la conversión de coordenadas cartesianas ECEF en geográficas y viceversa. Con este conjunto de transformaciones podemos dadas unas coordenadas en uno de los tres sistemas descritos anteriormente obtener su correspondiente equivalente en cualquiera de los otros dos.

- **Obtención de las características del elipsoide**

El primer paso para cualquier operación consiste en obtener las características del elipsoide en el que se está trabajando, necesarias para operaciones posteriores. Partimos de los dos parámetros iniciales  $a$  y  $b$ , el semieje mayor y el semieje menor. Los datos a obtener son la excentricidad, la segunda excentricidad, el radio polar de curvatura y el aplanamiento del elipsoide. Las ecuaciones involucradas son las siguientes: *Ecuación 5*, *Ecuación 6*, *Ecuación 7* y *Ecuación 8*.

Se asume en este apartado que el sistema de coordenadas origen y el sistema de coordenadas destino tienen el mismo *datum* de referencia. Ambas coordenadas deben estar referidas al mismo elipsoide. El problema de cambio de *datum* es más complicado y extenso, y será tratado en profundidad en el siguiente apartado de este documento.

Existen varios métodos para traducir coordenadas geográficas a UTM y viceversa:

1. Utilizando las tablas de proyección UTM [10].
2. Utilizando las fórmulas de transformación directa del US Army publicadas en 1973 [11].
3. Utilizando las fórmulas de transformación planteadas por Alberto Coticchia y Luciano Surace [12].

Se va a describir a continuación es el tercero de ellos, las fórmulas de Coticchia-Surace, ya que es el método más apropiado en el ámbito de la programación por su sencillez y facilidad de implementación. El método requiere precisión así que recomienda trabajar con números en coma flotante de doble precisión. Las ecuaciones completas del proceso se incluyen en el *Anexo II: Formulas matemáticas*.

- **Conversión de coordenadas geográficas a UTM**

- **Problema directo**

Se parte de los valores de longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\varphi$ ) de las coordenadas geográficas. Dichas coordenadas deben estar representadas en grados en notación decimal. Para la conversión de grados, minutos y segundos a grados decimales véase el apartado 2.1.6 relativo a las coordenadas geográficas. Posteriormente conviene también obtener dichos valores expresados en radianes, ya que en algunas de las ecuaciones que se muestran a continuación se utilizan los valores en grados y otras en cambio utilizan los valores en radianes.



1. En primer lugar, se obtiene el huso UTM en base a la longitud (en grados decimales) mediante la *Ecuación 9*, y también el meridiano central de dicho huso, mediante la *Ecuación 10*.
2. Se calcula la distancia angular entre el punto y el meridiano central aplicando la *Ecuación 11*. Ambos datos deben convertirse previamente a radianes.
3. A continuación se calculan una serie de parámetros encadenados que conforman el núcleo de las ecuaciones de Coticchia-Surace. A partir de este punto todos los ángulos se expresan en radianes. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes: *Ecuación 12*, *Ecuación 13*, *Ecuación 14*, *Ecuación 15*, *Ecuación 16*, *Ecuación 17*, *Ecuación 18*, *Ecuación 19*, *Ecuación 20*, *Ecuación 21*, *Ecuación 22*, *Ecuación 23*, *Ecuación 24* y *Ecuación 25*.
4. Por último, una vez calculados los parámetros anteriores, se procede a calcular la solución final de las coordenadas UTM X e Y mediante la *Ecuación 26* y la *Ecuación 27* respectivamente. Es importante recordar que si la latitud de las coordenadas geográficas con las que se ha operado pertenecen al hemisferio sur, debemos sumar 10.000.000 al resultado obtenido para la coordenada Y.

Una vez conocida la X, la Y, el huso y el hemisferio (obtenido en función del signo de la latitud) se tienen las nuevas coordenadas UTM equivalentes a las coordenadas geográficas originales.

○ **Problema inverso**

Se parte de las coordenadas X e Y, el huso UTM y el hemisferio en el que se encuentra el punto.

1. En primer lugar se realiza un tratamiento previo de los valores X e Y. Se debe realizar la corrección al ajuste introducido en las coordenadas X e Y, para que la coordenada X vuelva a estar referenciada al meridiano central, y la coordenada Y al ecuador. Para ello se resta a la coordenada X el valor 500.000 tal y como se indica en la *Ecuación 28* y si el punto se encuentra en el hemisferio sur, se le resta a la coordenada Y el valor 10.000.000 como se indica en la *Ecuación 29*.
2. Se calcula el meridiano central del huso UTM aplicando la *Ecuación 30*. Está ecuación es similar a la *Ecuación 10*, pero se ha duplicado para mantener la secuencia de pasos en el anexo.
3. Se calcula una serie de parámetros encadenados de forma similar a la realizada en la resolución del problema directo. Todos los ángulos tratados se expresan en radianes. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes: *Ecuación 31*, *Ecuación 32*, *Ecuación 33*, *Ecuación 34*, *Ecuación 35*, *Ecuación 36*, *Ecuación 37*, *Ecuación 38*, *Ecuación 39*, *Ecuación 40*,

*Ecuación 41, Ecuación 42, Ecuación 43, Ecuación 44, Ecuación 45, Ecuación 46, Ecuación 47 y Ecuación 48.*

4. Por último, una vez calculados los parámetros anteriores, se calcula la solución final de longitud y latitud mediante la *Ecuación 49* y la *Ecuación 50* respectivamente. Ambos valores están expresados en radianes, y se deben convertir a grados decimales multiplicando por 180 y dividiendo por Pi.

Una vez conocidas la longitud y latitud, se tienen las nuevas coordenadas geográficas equivalentes a las coordenadas UTM originales. Si posteriormente se desea traducir la longitud y latitud representadas en grados en notación decimal a grados, minutos y segundos, se debe aplicar la *Ecuación 3*.

Para traducir coordenadas geográficas a ECEF, las operaciones a realizar son mucho más sencillas. Ambos sistemas son sistemas tridimensionales, al contrario que el sistema UTM, que está basado en la proyección en 2D. Esto permite plantear una solución basada exclusivamente en ecuaciones trigonométricas y geometría espacial. La *Ilustración 13* muestra de forma gráfica el proceso matemático para el cual se van a llevar a cabo los siguientes pasos, con el fin de transformar coordenadas entre ambos sistemas.

- **Conversión de coordenadas geográficas a ECEF**

- **Problema directo**

Se parte de los valores de longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\varphi$ ) de las coordenadas geográficas, y de un valor opcional  $h$ , que representa la altitud elipsoidal. La altitud elipsoidal representa la distancia perpendicular a la superficie del elipsoide entre esta y el punto de las coordenadas. Esta altitud es diferente a la altitud sobre el nivel del mar, ya que esta última es una altitud relativa al geoide. Si este valor no se conoce, se puede omitir del proceso considerando  $h=0$  y trabajar únicamente con la longitud y la latitud. El resultado del proceso utilizando la altitud correcta o suponiendo que es esta es cero puede variar del orden de centímetros o tener un impacto más significativo en función del punto del elipsoide que vayamos a calcular. Se recomienda utilizar el valor correcto si se dispone de él. Los valores de longitud y latitud deben traducirse a radianes.

1. En primer lugar, se calcula el radio de curvatura en la vertical principal del punto mediante la *Ecuación 51*.
2. Una vez conocido el radio en la vertical principal, se obtiene la solución final para las coordenadas X, Y y Z aplicando la *Ecuación 52*, la *Ecuación 53* y la *Ecuación 54* respectivamente.

Una vez conocidas la X, la Y y la Z, se tienen las nuevas coordenadas ECEF equivalentes a las coordenadas geográficas originales. Como se ha podido observar, este proceso de cálculo es más sencillo que el anterior en el cual se trataban coordenadas UTM basadas en una proyección cilíndrica.

○ **Problema inverso**

Se parte de los valores X, Y y Z de las coordenadas ECEF.

1. Se calculan los factores de conversión mediante la *Ecuación 55* y la *Ecuación 56*.
2. Se calcula el radio de curvatura en la vertical principal del punto mediante la *Ecuación 57*.
3. Se calcula la solución final de la altitud elipsoidal mediante la *Ecuación 58*.
4. Se obtiene la solución final para la longitud y la latitud mediante la *Ecuación 59* y la *Ecuación 60* respectivamente. Dichos valores están expresados en radianes. Se deben transformar en grados decimales multiplicando los valores por 180 y dividiéndolos por Pi.

Una vez conocidas la longitud y latitud, se tienen las nuevas coordenadas geográficas equivalentes a las coordenadas ECEF originales. Si posteriormente se desea traducir la longitud y latitud representadas en grados en notación decimal a grados, minutos y segundos, se debe aplicar la *Ecuación 3*.

#### 2.1.10. Transformaciones entre distintos datums

En el apartado anterior se ha descrito cómo representar las coordenadas de un punto en diferentes sistemas de coordenadas, siempre que todos ellos estén referidos al mismo *datum*. No obstante, esto no tiene por qué ser así. Se ha mostrado como un mismo punto puede tener asociadas diferentes coordenadas en función del *datum* de referencia utilizado para definir el sistema de coordenadas.

Se ha mostrado también que existen en la actualidad un gran número de datums que tienen un carácter oficial en diferentes zonas del planeta. Dado dicho carácter oficial, muchas aplicaciones o procesos relacionados con la cartografía y la navegación pueden utilizarlos:

- El WGS84 es utilizado por el sistema GPS en todo el planeta para remitir las coordenadas de navegación.
- El ED50 ha sido hasta el año 2008 el *datum* de referencia oficial en la Península Ibérica, y multitud de aplicaciones cartográficas en España todavía lo implementan.
- Algo similar ocurre con el *datum* NAD27 en Estados Unidos, donde multitud de sistemas heredados todavía lo utilizan como sistema de referencia.

Si se desea que N sistemas basados en diferentes *datums* sean compatibles, puedan interactuar e intercambiar información relativa a coordenadas, dichos sistemas deben establecer un marco de referencia común. Las coordenadas de cada uno de los sistemas deben traducirse a un *datum* interpretable por todos ellos. Generalmente el *datum* WGS84 suele ser el marco de referencia en todo el mundo debido a su carácter

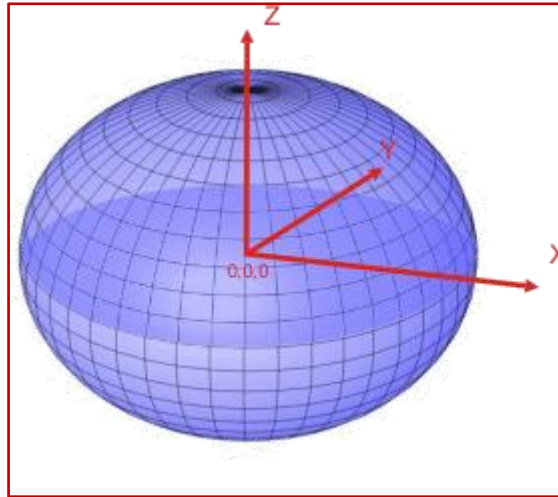
de estándar global, a su uso en todo el planeta a través del sistema GPS y al carácter global de su elipsoide. No obstante, el *datum* de referencia es una decisión de diseño a establecer a la hora de implementar el mecanismo de interacción entre los sistemas mencionados.

Existen diversos procedimientos matemáticos para realizar el traspaso de unas coordenadas en un *datum* origen a otro de destino que se pueden catalogar en función del sistema de coordenadas con el que operan. En los apartados anteriores se han descrito tres tipos de sistemas de coordenadas, y correspondientemente existen procedimientos que operan con cada uno de los tres:

- Para operar con las coordenadas geográficas directamente existen las ecuaciones de Molodensky y las ecuaciones de Molodensky abreviadas. La versión abreviada se basa en 3 parámetros de transformación y es equivalente a realizar una translación de las coordenadas, aunque tiene escasa precisión.
- Para operar con coordenadas proyectadas como el sistema UTM se pueden utilizar transformaciones polinómicas que emplean expresiones de distinto grado para realizar el ajuste. Cuanto más compleja sea la transformación mayor precisión tendrá el procedimiento.
- Para operar con coordenadas cartesianas ECEF existe el modelo de transformación de 7 parámetros en el que se basan las ecuaciones de Bursa-Wolf y la transformación de Helmert.

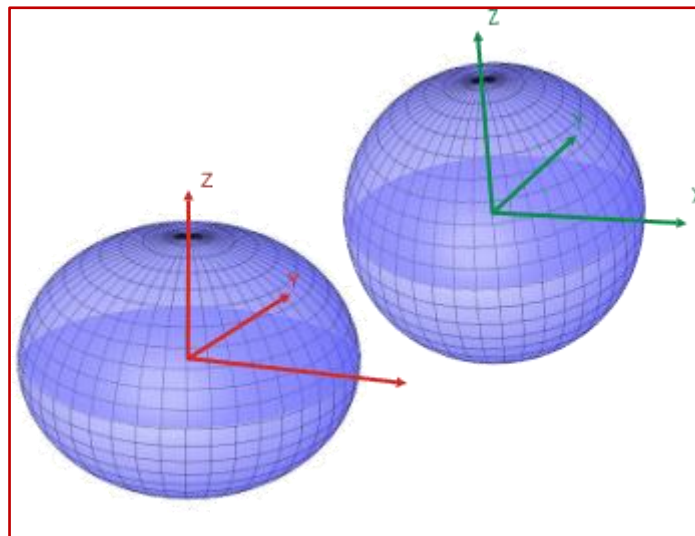
De todos ellos, nos vamos a centrar en el último de ellos, por considerarlo el más sencillo de implementar desde el punto de vista de la programación, y porque los parámetros necesarios para realizar el proceso son archivados y catalogados por organismos internacionales relacionados con la cartografía y la geodesia, y se proporcionan de forma gratuita.

La transformación de 7 parámetros se basa en la idea de que cada elipsoide dispone de sus correspondientes ejes cartesianos en los que se basa en el sistema de coordenadas ECEF, como se muestra en la *Ilustración 14*.



*Ilustración 14 - Ejes cartesianos del elipsoide [19]*

Por tanto, dos elipsoides con diferentes medidas y diferente punto de aplicación sobre el geoide tendrán sus ejes cartesianos diferentes, como en la *Ilustración 15*.



*Ilustración 15 - Dos elipsoides con diferentes ejes cartesianos [19]*

Si se logra obtener las diferencias entre ambos ejes de coordenadas, se puede crear una matriz de transformación que aplicándola a las coordenadas X, Y y Z de un punto en el *datum* origen se obtenga las coordenadas equivalentes X', Y' y Z' en el *datum* destino, equivalente a realizar el proceso mostrado en la *Ilustración 16*.

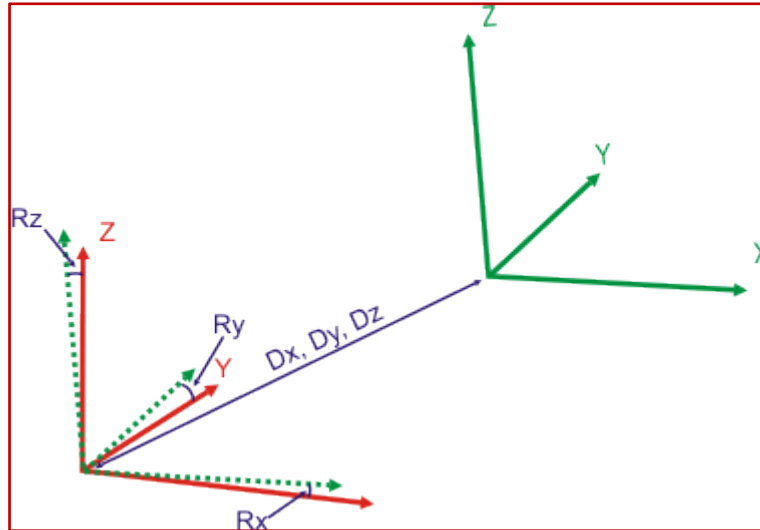


Ilustración 16 - Transformación entre diferentes ejes cartesianos [19]

Esas diferencias son los 7 parámetros de la transformación, descritos a continuación:

1.  $\Delta X$ : Término de translación en el eje X.
2.  $\Delta Y$ : Término de translación en el eje Y.
3.  $\Delta Z$ : Término de translación en el eje Z.
4.  $R_x$ : Término de rotación del eje X.
5.  $R_y$ : Término de rotación del eje Y.
6.  $R_z$ : Término de rotación del eje Z.
7.  $e$ : Factor de escala entre los ejes de coordenadas de los *datums* origen y destino.

La transformación de Helmert plantea el sistema de ecuaciones descrito en la **Ecuación 4**. Las ecuaciones de Bursa-Wolf son muy similares pero cambia el signo de alguno de los parámetros.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + e) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Ecuación 4 - Transformación de Helmert

El uso de la transformación de Helmert plantea la necesidad de adquirir unos parámetros para dicha transformación que sean adecuados. Los 7 parámetros suelen tener una validez local, y solo son adecuados en un área reducida. Si se utilizan parámetros de transformación en la traducción de coordenadas ajenas a la zona geográfica para la cual están planteados dichos parámetros, el grado de error introducido por el proceso se disparará y la solución no será válida. Como se ha

comentado, dichos parámetros suelen proporcionarse de forma gratuita por las instituciones internacionales.

La *web* CRS-EU [26] es un proyecto conjunto de la agencia federal de cartografía y geodesia alemana [27], de la red Eurogeographics [28] y de EUREF [29] para proporcionar soporte a los usuarios de información espacial en Europa. La *web* almacena y gestiona datos relativos a los sistemas de coordenadas de referencia utilizados en Europa archivados por países, los sistemas de referencia pan-europeos (unificados en toda la Unión), así como enlaces a las autoridades geográficas de cada país. Se puede encontrar en ella los parámetros para las transformaciones de sistemas de referencia locales a los sistemas unificados archivados por países [30]. Dichos registros incluyen:

- *Datum* origen.
- *Datum* destino.
- Transformación utilizada
- Parámetros de la transformación
- Área de validez de dichos parámetros.
- Datos para la verificación de la transformación.

Para la Península Ibérica se proporcionan tres conjuntos de parámetros que se muestran en la **Tabla 6**. Cada uno de ellos está asociado a un área concreta y no son aplicables fuera de esta área. El primer conjunto, denominado ZNW99, está preparado para operar con coordenadas en el noroeste de la Península, en la zona de Galicia. El segundo conjunto, denominado EST99 está preparado para operar en el resto de la Península, y el tercero, BAL99 se utiliza en las islas Baleares.

Parámetros de transformación de Helmert			
Parámetro	ZNW99	EST99	BAL99
$\Delta X (m)$	-178,4	-131,0	-181,5
$\Delta Y (m)$	-83,2	-100,3	-90,3
$\Delta Z (m)$	-221,3	-163,4	-187,2
$R_x ('' )$	0,54	-1,244	0,144
$R_y ('' )$	-0,532	-0,02	0,492
$R_z ('' )$	-0,126	-1,144	-0,394
$e (ppm)$	21,2	9,39	17,57

Tabla 6 - Parámetros de la transformación de Helmert en la Península Ibérica (ED50 a ETRS89)

Si se desea por tanto realizar una migración de coordenadas de un punto determinado en un *datum* origen a otro destino mediante la transformación de Helmert se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Obtener las coordenadas ECEF del punto en *datum* origen aplicando si es necesario la transformación entre sistemas de coordenadas correspondiente.

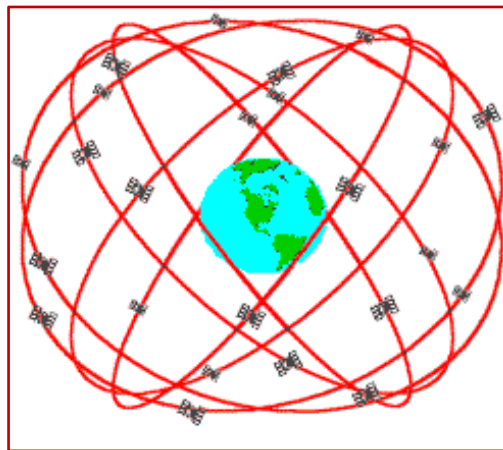
2. Localizar los parámetros del área en el que está situado dicho punto para esos *datums* y aplicar las formulas de transformación para obtener las coordenadas ECEF del punto ya en *datum* destino.
3. Obtener la solución final en el sistema de coordenadas deseado revirtiendo la transformación realizada en el punto 1.

## 2.2. El sistema GPS

El sistema GPS es la principal herramienta sobre la que se sustenta el proyecto, y por tanto resulta conveniente analizarlo en profundidad, tanto su funcionamiento básico como posibles mejoras en su rendimiento o alternativas de uso.

### 2.2.1. Composición

El sistema GPS está compuesto por una constelación de 27 satélites NAVSTAR, aunque el número es variable debido a que suelen ser reemplazados conforme se va agotando su vida útil. De estos 27 satélites 24 funcionan en modo operativo emitiendo señal y 3 funcionan como respaldo por si alguno de los anteriores falla. Los satélites se reparten en 6 planos orbitales a una altitud de 20.200 km. El periodo orbital de los satélites es de 12 horas aproximadamente. La configuración de los planos orbitales está diseñada para que en todo momento en cualquier punto de la superficie terrestre resulten visibles un mínimo de 4 satélites. La *Ilustración 17* muestra un esquema de la constelación de satélites y sus planos orbitales.



*Ilustración 17 - Constelación NAVSTAR*

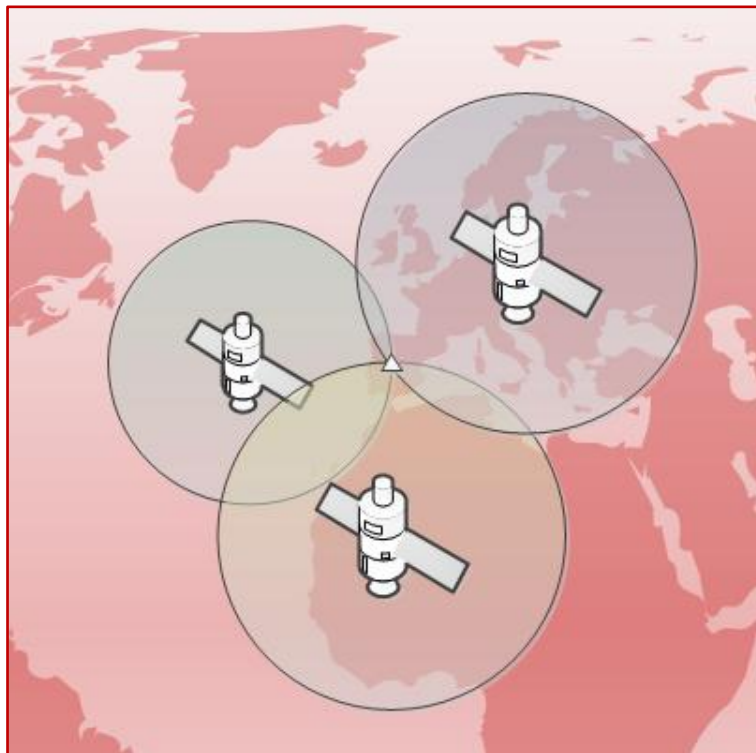
### 2.2.2. Funcionamiento

El sistema GPS se basa en el concepto de triangulación para determinar la posición de un usuario en la superficie del planeta, tomando como referencia el *datum*



geocéntrico WGS84. Los receptores GPS calculan las distancias a los satélites y conociendo la ubicación de estos determinan sus coordenadas.

Dada la distancia del receptor a un mínimo de 4 satélites y sus posiciones, el sistema puede calcular las esferas en cuyo centro se sitúan dichos satélites, con radio determinado por cada distancia correspondiente. La intersección de las 4 esferas marca la posición del receptor. En la *Ilustración 18* podemos observar una simplificación del problema en 2 dimensiones. Para exportar el problema a 3 dimensiones sería necesario un cuarto satélite.



*Ilustración 18 - Triangulación GPS*

En teoría con 3 satélites puede resultar suficiente para resolver el problema de triangulación. 3 satélites determinan dos posibles soluciones de coordenadas y una de ellas se puede descartar debido a que las coordenadas determinadas no conforman una solución aceptable (puntos en el espacio o bajo la superficie de la tierra). En la práctica se utilizan 4 satélites por motivos de corrección de errores.

Para completar este proceso el receptor necesita conocer no obstante las posiciones de un mínimo de 4 satélites y la distancia de estos al receptor. Cada satélite GPS emite continuamente una señal que contiene la información que los receptores necesitan. Dicha información contiene los siguientes campos:

- **Código de identificación.** Código pseudoaleatorio que identifica unívocamente a cada satélite de la constelación.
- **Instante actual.** Instante actual. La medición tiene una gran precisión ya que el satélite lleva incorporado un reloj atómico de cesio.
- **Almanaque.** El almanaque contiene información global del estado del sistema e información aproximada de la situación orbital de todos los satélites. De esta forma los receptores pueden conocer que satélites son más accesibles en un instante de tiempo determinado.
- **Efemérides.** Las efemérides contienen parámetros precisos para calcular la posición exacta del satélite en un instante de tiempo concreto. Debido a su precisión los datos solo resultan válidos durante unas pocas horas y deben ser descargados de nuevo por los receptores cada poco tiempo.

Los datos de los satélites son almacenados en la memoria de los receptores, de forma tal que en cualquier momento puedan consultar dicha información. Consultando sus efemérides el receptor puede conocer la posición actual de un satélite concreto. De esta forma se resuelve el problema de conocer la posición del satélite en el proceso de triangulación.

El otro parámetro necesario, la distancia al receptor, se puede medir por el retardo de la señal emitida por el satélite. Puesto que cada satélite emite un código pseudoaleatorio identificativo y el instante exacto de emisión en cada momento, el receptor puede analizar la señal recibida comparando los instantes de envío y recepción para conocer el retardo exacto. Solo resta multiplicar dicho tiempo por la velocidad de la señal (la velocidad de la luz en el vacío) para obtener la distancia al satélite.

Es necesaria una gran precisión en el proceso, Por ello los satélites incorporan relojes atómicos enormemente precisos. Los receptores GPS en cambio, incorporan relojes normales de cuarzo mucho más económicos, pero estos son actualizados periódicamente tomando mediciones de los relojes de los satélites para evitar desfases que producirían errores en la triangulación.

El GPS es sensible a errores de diferentes tipos que pueden afectar a la señal e introducir un margen de error en el cálculo de la posición.

Fuentes de error en el sistema GPS	
Fuente	Error (m)
Reloj del satélite	1,5
Errores orbitales	2,5
Ionosfera	5,0
Troposfera	0,5
Ruido en el receptor	0,3
Disponibilidad selectiva	0 (30 hasta el año 2000 que se eliminó)

*Tabla 7 - Fuentes de error en el sistema GPS*

Además, la primera vez que un receptor intenta sintonizar la señal de los satélites tras un largo periodo de tiempo sin ser utilizado se produce un retardo en función de si dicho receptor dispone de un almanaque y unas efemérides válidas o los debe actualizar. Este retardo se denomina tiempo para el primer posicionamiento o TTFF, y puede alcanzar los 15 minutos.

### 2.2.3. Aumentaciones

Se ha descrito el funcionamiento básico del sistema GPS. No obstante, se han desarrollado muchas tecnologías que complementan o sustituyen este mecanismo denominadas aumentaciones, que sumadas al esquema básico introducen el concepto de A-GPS.

El GPS asistido o A-GPS es el término utilizado para denominar a un conjunto de tecnologías cuyo objetivo es superar algunas de las limitaciones que tiene el *standalone* GPS y mejorar su rendimiento. El GPS no requiere enlaces a datos ni conexiones a servidores; por el contrario, es dependiente de la señal recibida de los satélites de la constelación. Perturbaciones en la señal de los satélites provocan importantes bajadas de rendimiento de los receptores. Además, la primera vez que un receptor se activa tras largo tiempo sin ser utilizado debe descargar el almanaque y las efemérides de los satélites, lo cual aumenta el TTFF. El A-GPS soluciona estos problemas mediante el empleo de infraestructura adicional.

A continuación se describen algunas tecnologías A-GPS:

- **GPS diferencial.** El GPS diferencial o DGPS es una tecnología que intenta mejorar la precisión obtenida a través del sistema GPS. El DGPS utiliza estaciones base que establecen una conexión de datos con el receptor GPS, transmitiéndole información de la degradación de la señal y del error de posicionamiento. Con esta información el receptor corrige su propia posición y ofrece datos mucho más precisos. Las estaciones base conocen su posición con exactitud, y la comparan con su posición según los satélites GPS, obteniendo el error de precisión de los satélites. El receptor GPS no debe estar lejos de la estación base, en primer lugar para que la conexión de datos pueda establecerse, y en segundo lugar para que el error de la estación base pueda extrapolarse al del receptor. La *Ilustración 19* muestra el esquema de funcionamiento:

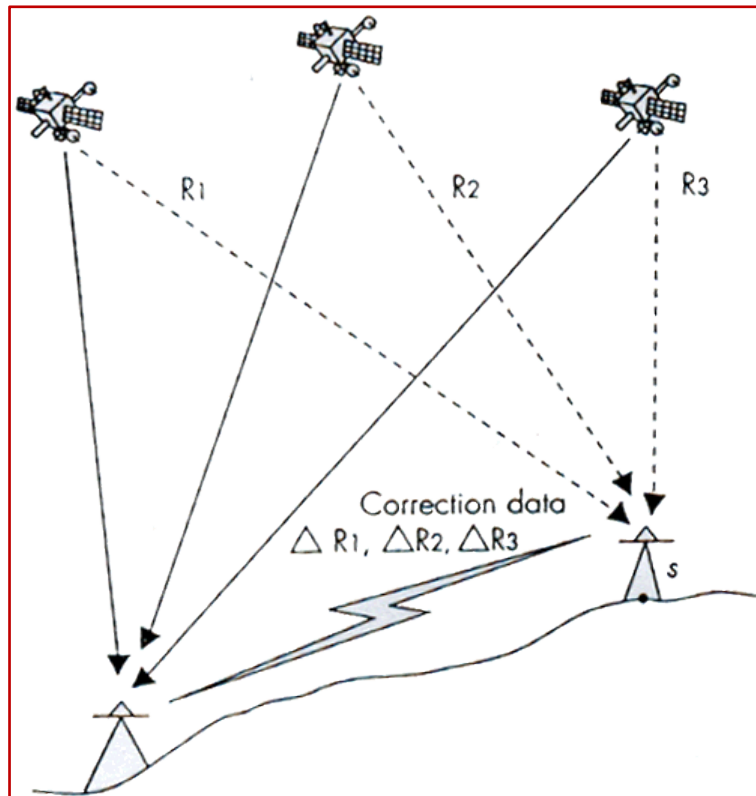


Ilustración 19 - Esquema de funcionamiento del DGPS [31]

El uso del GPS diferencial reduce las fuentes de error relacionadas con la ionosfera y la troposfera, y anula los errores cuya fuente es el satélite, como puedan ser ligeras variaciones de órbita o desfases en el reloj atómico.

- **Servidores de asistencia.** Servidores que proporcionan al receptor información sobre los satélites, como puedan ser sus posiciones actuales en el firmamento o información relacionada con su operatividad, que sustituye o complementa al almanaque y las efemérides, permitiendo al receptor acotar el rango de búsqueda de la señal de los satélites y reducir de esta manera el TTFF. Se requiere que el receptor establezca un enlace complementario para descargar dicha información. Dicha descarga puede producirse *on-line*, simultáneamente al TTFF, o *off-line*, previamente al TTFF descargando datos sobre los satélites válidos para un periodo determinado tras el cual caducarán y no podrán ser utilizados.
- **Localización GSM.** Tecnología sustitutiva del GPS, basada en triangulación un terminal telefónico en base a la celda de telefonía móvil a la que está conectado. El proceso consiste en, conocidas las coordenadas de las celdas (antenas) de telefonía de un operador dado (mediante una base de datos de instalaciones por ejemplo) obtener a que antenas está conectado el teléfono móvil. En función de dichas antenas se puede triangular la posición del terminal móvil. Cuantas más antenas participen en el proceso más precisa será la localización. Este servicio es ofrecido por las operadoras de telefonía móvil y no requiere un receptor GPS, no

obstante se requiere disponer de cobertura telefónica con el operador para poder utilizarse.

Podemos observar por tanto que aunque las tecnologías A-GPS mejoran notablemente el rendimiento del GPS, frecuentemente tienen mayores requisitos de *hardware* e infraestructura.

### 2.3. Servidores de mapas

Los servidores de mapas en internet, también llamados servidores de cartografía digital, representan el principal recurso fuente de este proyecto. En la solución planteada, estos servidores deben proporcionar los mapas que el usuario requiera para su navegación y diseño de rutas. Por ello deben analizarse las alternativas existentes en la red y las condiciones bajo las cuales dichos servidores proporcionan la información.

Los servidores de cartografía digital proporcionan servicios cartográficos de diferentes tipos a los usuarios que los solicitan. El servicio más popular es la descarga de diferentes tipos de mapas (imágenes por satélite, mapas vectoriales, mapas con realidad aumentada, etc.) en múltiples formatos (JPEG, GIF, etc.), pero cada servidor puede proporcionar servicios adicionales relacionados con dichos mapas tales como creación de rutas, composición de mapas, resolución de direcciones, definición de marcadores, etc.

Es frecuente que cada servidor proporcione diferentes especificaciones de acceso a sus servicios. Estas especificaciones suelen estar formadas por interfaces y protocolos que no suelen ser interoperables y no suelen estar documentados, dificultando el diseño de aplicaciones que permitan operar con varios servidores simultáneamente. Las especificaciones más comunes suelen ser las siguientes:

- **HTTP.** Descarga directa de imágenes mediante peticiones HTTP GET o POST.
- **JavaScript y AJAX.** Basado en la inclusión de controles *JavaScript* y tecnología AJAX en el código fuente de una página anfitriona, que permite recuperar de forma asíncrona, sin necesidad de actualizar la página, los mapas solicitados.
- **Web Services.** Especificación de una interfaz de servicios *web* para acceder a las imágenes y descarga de las mismas mediante el protocolo SOAP.

Aunque se trata de un entorno muy heterogéneo, existe un estándar completo para definir los servicios proporcionados por estos servidores llamado WMS (*Web Map Service*) [35] definido por el OGC (*Open Geospatial Consortium*) [36], basado en el acceso a las imágenes por HTTP y XML. El estándar WMS especifica un formato de URL en la cual se introducen los parámetros del servicio a invocar, generalmente la descarga de un mapa aunque el estándar contempla otros tipos de servicios. El procedimiento es el siguiente:

1. La aplicación cliente compone una URL con el servidor al que desea solicitar los datos y los parámetros identificativos de dichos datos en el formato especificado por el estándar WMS.
2. Se realiza una petición HTTP a dicha URL.
3. El servidor contesta a la petición realizada con el contenido solicitado en formato XML.
4. El cliente recibe los datos, interpreta el XML y extrae la información requerida.

A pesar de la utilidad del estándar, no todos los servidores de mapas lo implementan, y aquellos que lo implementan no tienen porque soportar las mismas operaciones, por ello resulta adecuado en cada servidor conocer si implementa WMS y compararlo con su especificación particular para acceder a los mapas.

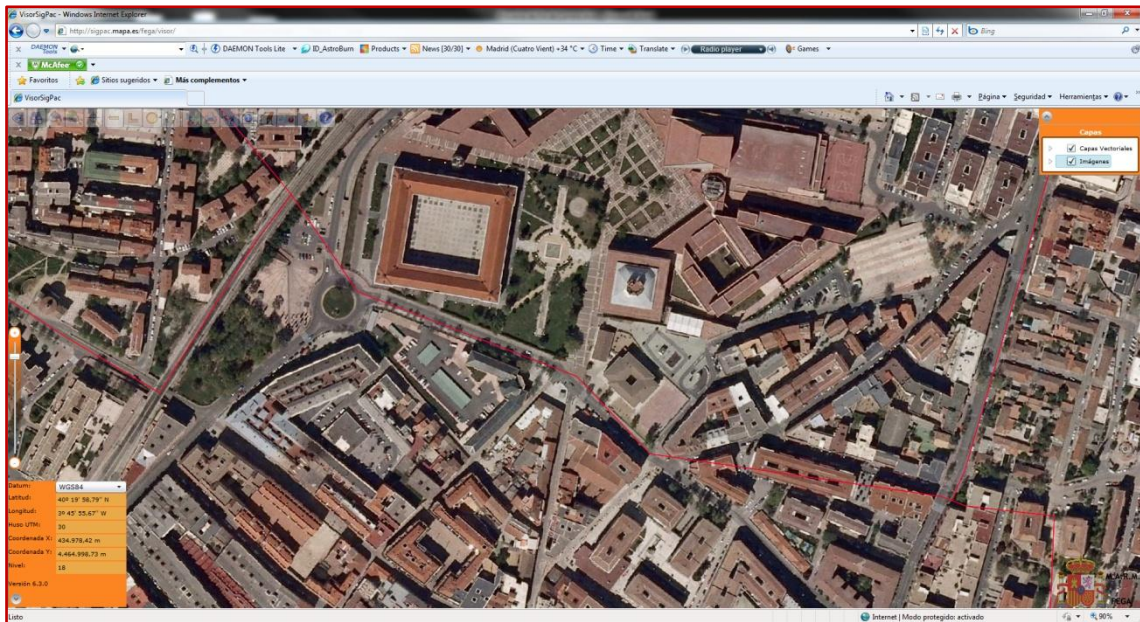
En este caso de estudio se va a analizar individualmente a los dos servidores más populares en España. El Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) [37] y el servicio *Google Maps*, comparando en cada caso como se obtienen los mapas necesarios para este proyecto, analizando las API para acceder a los datos y estudiando el modelo de negocio de cada uno de ellos.

### 2.3.1. SIGPAC

El SIGPAC es una aplicación creada por el Ministerio de Medio Ambiente [38] para cumplir con el Reglamento (CE) nº 1593/2000 [13] el cual establece un sistema integrado de gestión y control de determinados regímenes de ayuda comunitarios, obligando a crear un sistema gráfico digital de identificación de parcelas agrícolas utilizando técnicas informáticas.

La aplicación tiene como objetivo ayudar a los agricultores en la gestión de sus parcelas agrícolas, visualizando los terrenos de su propiedad, mostrando claramente los límites e información adicional de la parcela. Se trata de una aplicación *web*, utilizada a través del navegador, que muestra en la pantalla mapas topográficos y ortofotos del Instituto Geográfico Nacional a diferentes escalas, mostrando cuando procede información adicional sobre dichas imágenes. La primera versión de la aplicación, aún accesible, utilizaba tecnología *Flash* de Adobe. La versión actual está construida con *Microsoft Silverlight* y se puede visualizar en la *Ilustración 20*.





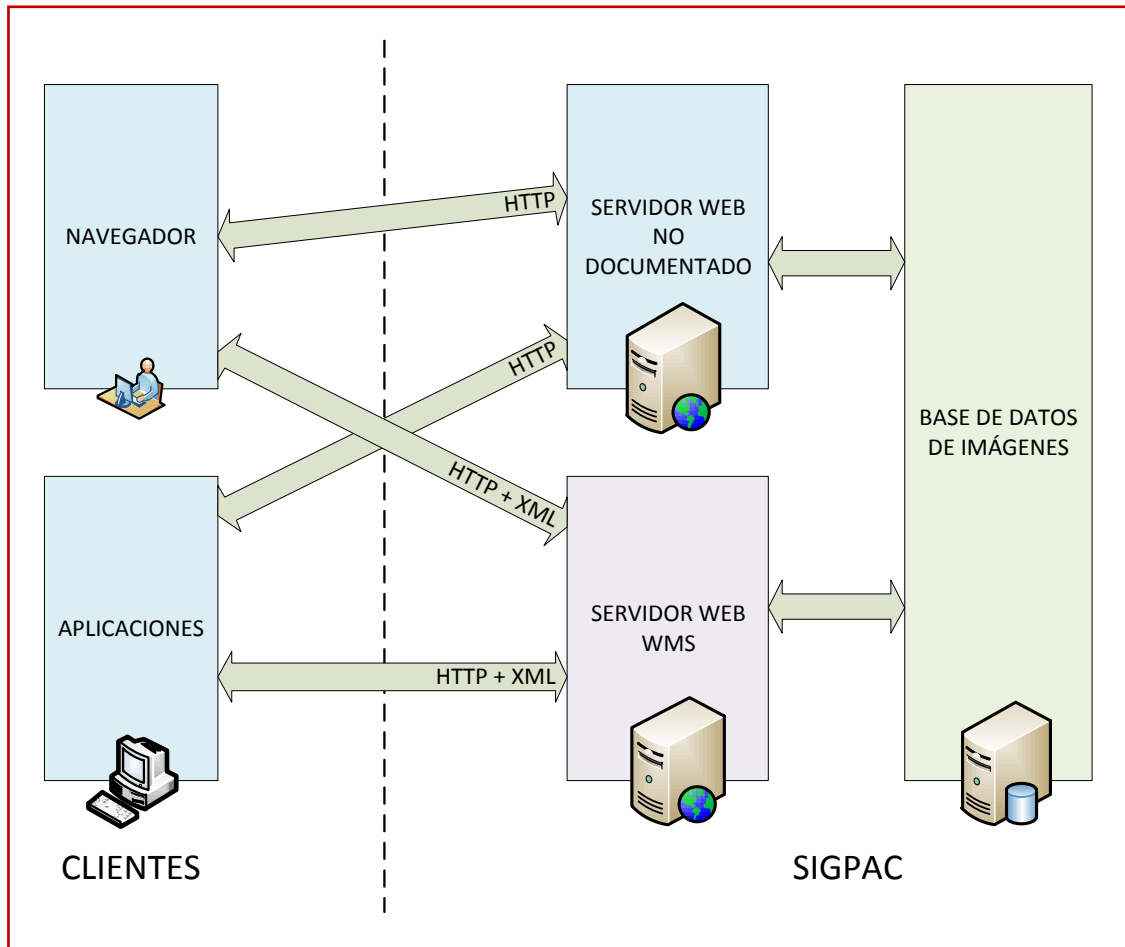
*Ilustración 20 - Visor SIGPAC en el navegador Internet Explorer*

El navegador del usuario interpreta la página descargada y ejecuta los controles *Flash* o *Silverlight*, que solicitan la descarga de los mapas del servidor, mediante HTTP y utilizando una especificación de URL propietaria y no documentada. Posteriormente los componen y añaden la información necesaria (realidad aumentada) mostrando al usuario un mapa único y homogéneo.

Es posible acceder a las imágenes directamente mediante la misma descarga directa http que utiliza el navegador cliente cuando ejecuta el código *Flash* o *Silverlight*. De esa forma se evita la necesidad de utilizar el navegador, y se abre la puerta a que terceras aplicaciones cliente accedan a los mapas del servicio. No obstante la composición de imágenes, el tratamiento de estas, y aquellas funcionalidades que hasta ahora se realizaban en el navegador por los controles *Flash* o *Silverlight* deberán ser reimplementadas en la aplicación cliente si así se requiere.

Por último, SIGPAC también implementa un interfaz que cumple con el estándar WMS, ofreciendo de esta manera sus servicios a aplicaciones cliente o usuarios de navegador que utilicen URLs con el formato definido por el WMS.

La *Ilustración 21* muestra los procedimientos de descarga de imágenes descritos.



*Ilustración 21 - Interfaces de acceso a SIGPAC*

Como ya se ha mencionado, SIGPAC no proporciona ninguna especificación formal ni ningún API en cuanto al formato de las URL del servidor principal. Puesto que resulta interesante dicho protocolo como alternativa a la implementación del estándar WMS en aplicaciones cliente que soliciten datos a SIGPAC, y además la interfaz WMS es una funcionalidad posterior que no estaba disponible al comienzo del presente proyecto, se ha estudiado por ingeniería inversa mediante un análisis de las peticiones HTTP emitidas por el navegador cuando un usuario está utilizando el visor. La aplicación del navegador, en función de las coordenadas de la imagen que desea descargar, construye una petición HTTP GET con una URL que contiene los parámetros de la imagen. La *Ilustración 22* muestra un ejemplo de este tipo de URL:



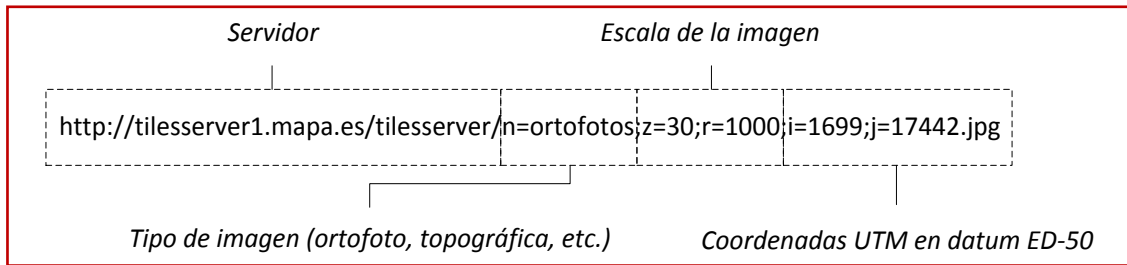


Ilustración 22 - Esquema de URL de SIGPAC

La petición HTTP es interpretada por el servidor que contesta mediante un *stream* binario que contiene la imagen solicitada. La especificación completa del formato de la URL se incluye en el apartado 4.4. *Formato de la URL de SIGPAC*.

SIGPAC es un servicio gratuito proporcionado por el ministerio de medio ambiente del gobierno de España. Por tanto, la descarga o el uso de los mapas de la aplicación no tienen gravamen asociado.

### 2.3.2. Google Maps

*Google Maps* es un servidor de aplicaciones de mapas creado por Google que ofrece un catálogo completo de servicios relacionados con la cartografía, la geografía y la navegación. *Google Maps* proporciona imágenes satelitales y mapas del mundo entero, visualización en 3D, herramientas de medición de distancias, datos de coordenadas, cálculo de rutas, y un sinnúmero de aplicaciones creadas de forma contributiva por usuarios en todo el mundo.

Inicialmente los servicios de *Google Maps* se ofrecían a través de [15], mostrando en el navegador una interfaz *web* que permitía al usuario interactuar con los mapas y acceder a las herramientas proporcionadas tal y como se muestra en la *Ilustración 23*.

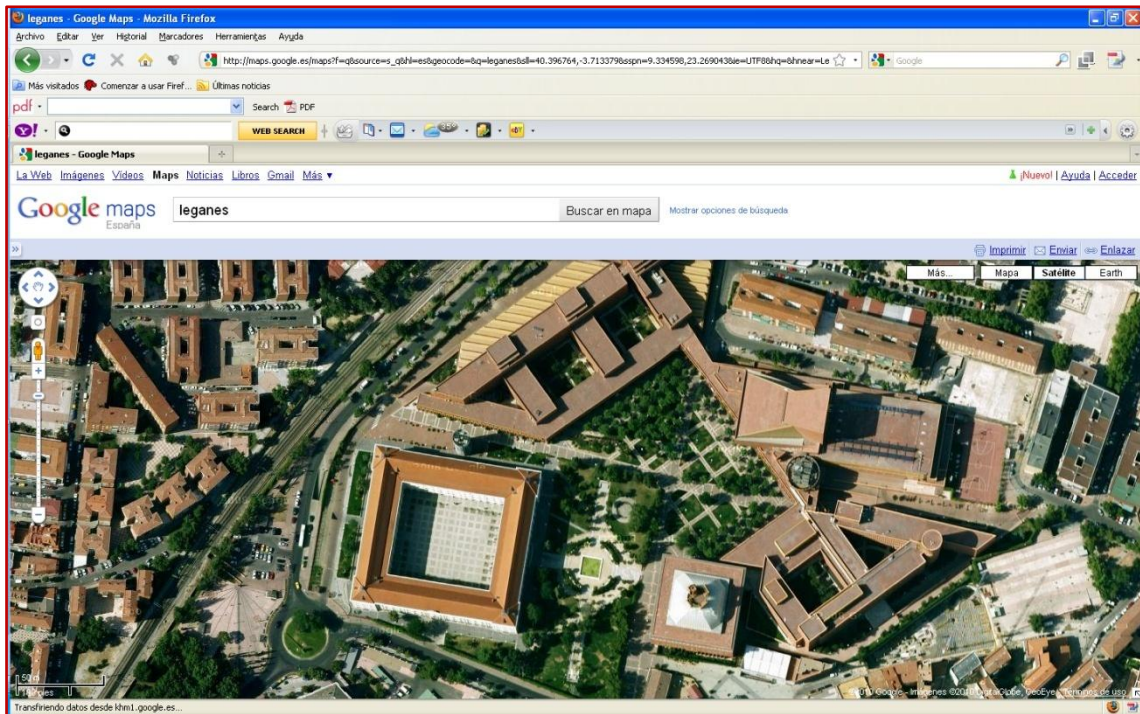


Ilustración 23 - Google Maps en el navegador Mozilla Firefox

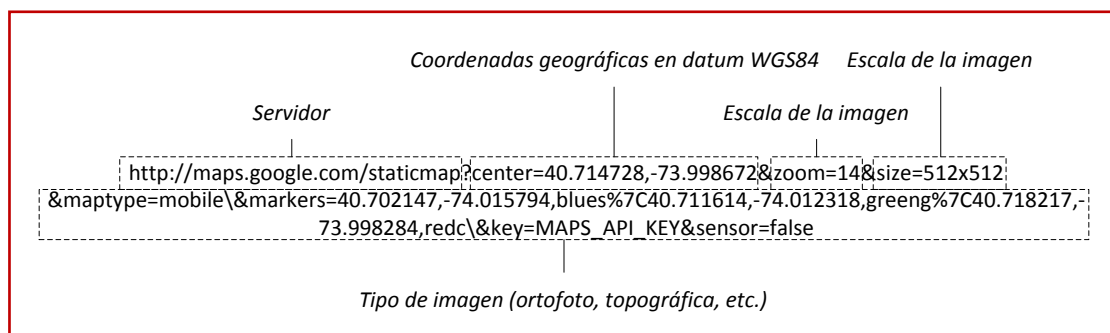
Actualmente, Google ofrece además dos APIs completos a los desarrolladores de páginas *web* para integrar los servicios ofrecidos por *Google Maps* en cualquier servidor *web*.

El primero es el llamado *Google Maps API* [32], y está basado en la inclusión de controles *JavaScript* y tecnología *AJAX* en el código fuente de la página anfitriona. Con esta forma de diseño los elementos *web* propios creados por el desarrollador se integran con elementos característicos de *Google Maps*. A pesar de que en principio se trata de un API gratuito, popular, y de gran potencia, existen ciertos condicionantes para su uso en este proyecto:

- **Poco integrable en aplicaciones de escritorio.** La solución se basa en tecnologías *web* fácilmente integrables en sitios y aplicaciones web. No obstante es complicado integrar esas tecnologías en aplicaciones de escritorio basadas en tecnologías como *Windows Forms*, *WPF* o *Java Swing*.
- **Necesidad de registrarse para utilizar el API básico.** Es necesario registrarse y obtener una licencia gratuita de desarrollador para poder acceder al API. Este tipo de acceso gratuito tiene limitaciones descritas en las condiciones de uso del API de *Google Maps* [33].
- **Solo incluye operaciones de consulta.** El API permite añadir contenidos a los mapas de Google pero no incluye operaciones para la descarga y manipulación directa de las imágenes. La alternativa es utilizar el API de *Google Static Maps*.

- **No es completamente gratuito.** Para su integración con aplicaciones de pago no se permite el uso del API básico, y se debe utilizar el API *Premier* cuyo precio es a partir de 10.000 \$ al año.

El segundo es el llamado *Google Static Maps API* [34], que permite la descarga directa de imágenes por HTTP mediante la creación de una URL en la que se especifican los datos de la imagen, de forma similar a la utilizada en el SIGPAC. La *Ilustración 24* muestra un ejemplo de este tipo de URL.



*Ilustración 24 - Esquema de URL de Google Static Maps*

No es necesario emplear la tecnología *JavaScript* y su uso es gratuito y más sencillo. No obstante además de requerir una licencia de desarrollador para poder utilizarse, al comienzo del presente proyecto el soporte a diferentes tipos de imágenes no estaba suficientemente desarrollado. En las primeras versiones de este API solo se permitía la descarga de mapas de carreteras, no siendo adecuado por tanto su uso para entornos aislados donde hay ausencia de estas.

### 2.3.3. Comparativa

El análisis anterior realizado sobre los dos principales servidores de mapas utilizados en España ofrece como resultado dos opciones de uso.

La primera es el uso de SIGPAC a través de su interfaz no documentada, ya que el servicio WMS no estaba habilitado en el momento de tomar la decisión.

La segunda es el uso del API *Google Static Maps* como método de descarga directa de imágenes, más adecuado para su uso en aplicaciones de escritorio que la interfaz *Google Maps*, más potente pero basada en tecnología *web*.

La *Tabla 8* muestra un resumen de las características de ambas opciones que ayudarán a tomar la decisión final en el estudio de alternativas de solución.

Comparativa entre SIGPAC y Google Static Maps		
Característica	SIGPAC	Google Static Maps
Cobertura	España	Planeta entero
Mapas callejeros	No	Si
Mapas topográficos	Si	No
Imágenes satelitales	Si	No
Realidad aumentada	No	Si
Superposición de mapas	No	No
Formato de imágenes	jpg	gif, jpg, png
Tamaño de las imágenes	256x256	No definido
Escala	1:20 m	1:10 m
Nº parámetros en la URL	5	12
Sistema de coordenadas	Coordenadas UTM	Coordenadas geográficas
Datum	ED-50	WGS84

Tabla 8 - Comparativa entre SIGPAC y Google Static Maps

## 2.4. Plataforma software

Una vez analizadas las herramientas y los recursos necesarios para el diseño de la arquitectura, resta analizar la plataforma *software* que va a sustentar a las aplicaciones construidas.

Puesto que una de las metas rápidas del proyecto era basar las aplicaciones en una plataforma *software* que facilite el desarrollo, la instalación y la distribución del producto, se ha seleccionado la tecnología .NET de Microsoft como punto de partida.

### 2.4.1. .NET y .NET CF

.NET es una plataforma de desarrollo creada por Microsoft enfocada en la transparencia de redes, independencia de la plataforma *hardware*, desarrollo rápido y fácil de aplicación e interoperabilidad entre distintos lenguajes. .NET se planteó en 1990 como un nuevo interfaz de acceso a las API y servicios de Windows. Microsoft proporciona un conjunto integrado de productos relacionados con la plataforma .NET que incluyen herramientas de desarrollo de aplicaciones como Visual Studio, servidores especializados como SQL Server, servicios web y bibliotecas para dispositivos móviles como teléfonos o consolas.

Reducido a un nivel básico, .NET es un conjunto de bibliotecas, integradas en el sistema operativo en las últimas versiones de Microsoft Windows, que permiten la compilación de aplicaciones desarrolladas en múltiples lenguajes soportados por la plataforma a un lenguaje intermedio parecido al ensamblador o al *bytecode* de Java [39] llamado IL (*Intermediate Language*) [40]. Posteriormente al ejecutarse la aplicación por primera vez la misma plataforma realiza una compilación JIT de la aplicación en lenguaje IL generando un código máquina optimizado para el *hardware* destino. La *Ilustración 25* muestra el proceso de desarrollo y ejecución aquí descrito.

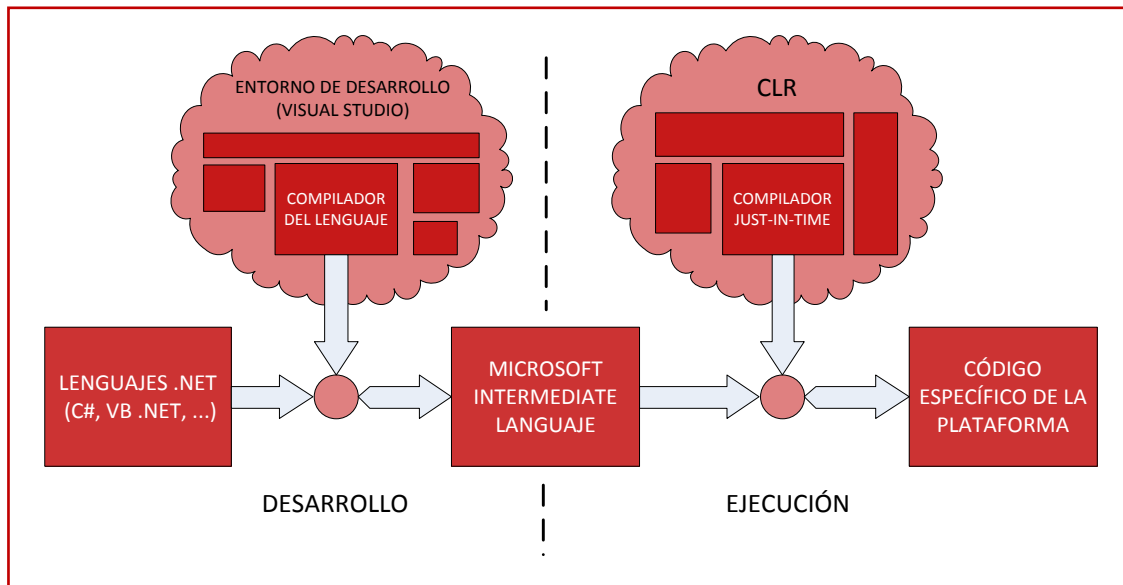


Ilustración 25 - Desarrollo y ejecución de una aplicación en la plataforma .NET

.NET permite la combinación de múltiples lenguajes de programación, ya que finalmente todos ellos son traducidos a lenguaje IL previo paso a su ejecución. Esto permite a programadores especializados en diferentes lenguajes colaborar desarrollando la misma aplicación, cada uno utilizando el lenguaje de su preferencia mientras dicho lenguaje esté soportado por la plataforma.

Los lenguajes de programación deben cumplir una serie de requisitos para poder ser soportados por la plataforma. Dichos requisitos se agrupan en dos conceptos: el *Common Type System* (CTS) y el *Common Language Specification* (CLS).

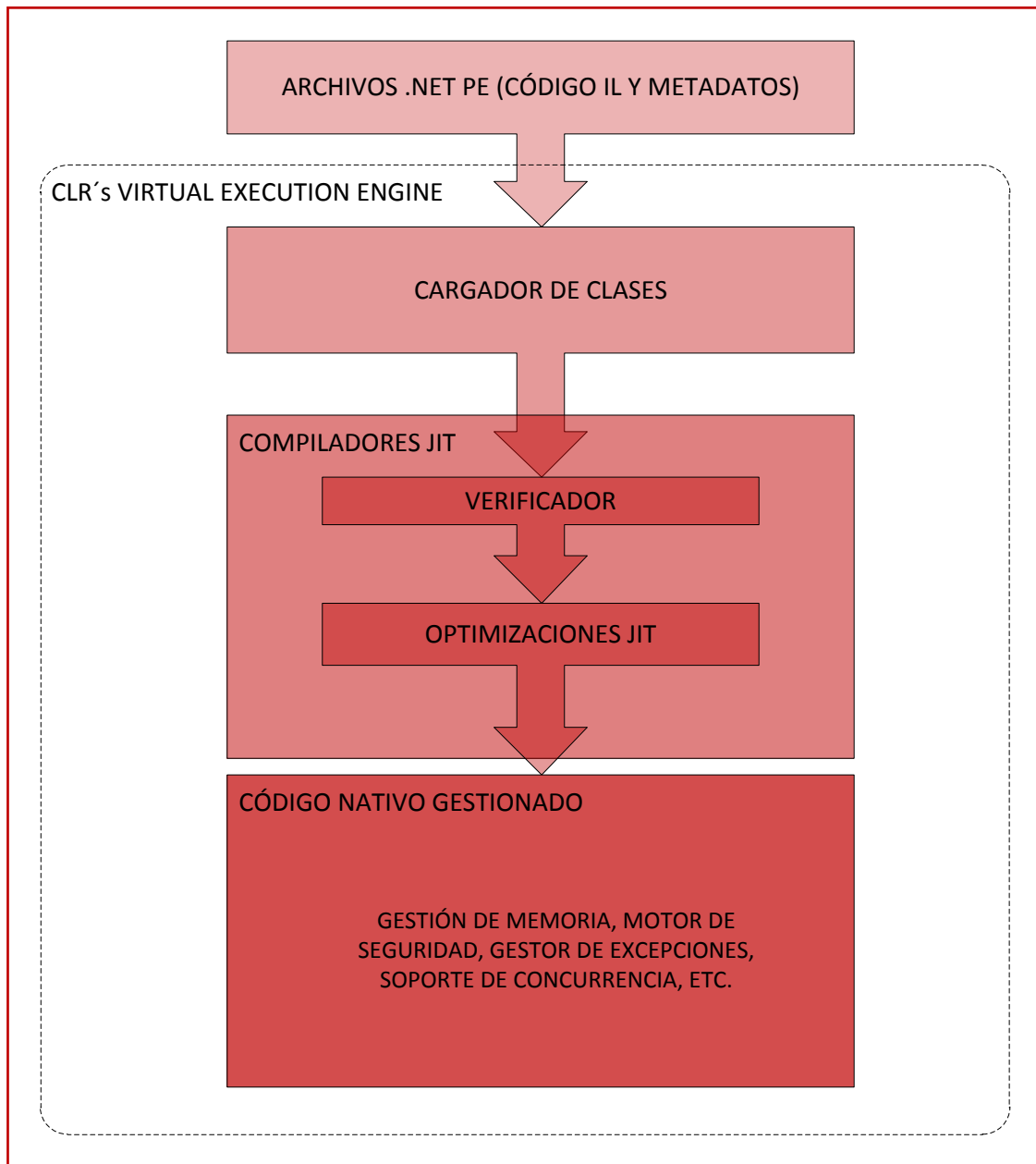
.NET especifica en el CTS un sistema de tipos común que todos los lenguajes de la plataforma deben cumplir. Los tipos básicos, las estructuras, los enumerados y las referencias deben de ser equivalentes en todos los lenguajes con el fin de que códigos programados en lenguajes diferentes puedan interoperar.

El CLS es un conjunto de especificaciones que pretenden eliminar las diferencias entre los diferentes lenguajes de la plataforma y facilitar su gestión por parte del CLR. Entre las especificaciones pueden encontrarse el soporte a excepciones, la concurrencia, o la sensibilidad a mayúsculas.

El componente más importante de la plataforma es el *Common Language Runtime* (CLR). El CLR realiza la compilación JIT de los programas precompilados a lenguaje IL. También es el encargado de realizar la carga en memoria de las clases de los programas y las bibliotecas utilizadas. Además, realiza la gestión del código de las aplicaciones en relación a los siguientes aspectos:

- Gestión de memoria.
- Motor de seguridad.
- Gestión de excepciones.
- Soporte para concurrencia.

La *Ilustración 26* muestra un esquema de cómo se ejecuta un programa en lenguaje IL mediante la actuación del CLR.



*Ilustración 26 - Ejecución de una aplicación en el entorno de desarrollo .NET*



Puesto que .NET es una plataforma diseñada para su utilización en dispositivos móviles como teléfonos, PDAs o consolas, que característicamente disponen de menos recursos *hardware* que un PC convencional, existe una versión reducida de .NET diseñada para dispositivos móviles llamada *.NET Compact Framework* (.NET CF). .NET CF no tiene una biblioteca de clases tan grande como la versión para PC, y dispone de algunas bibliotecas especializadas relativas a telefonía y GPS.

Debido a que es un objetivo del proyecto que las aplicaciones diseñadas sean fácilmente distribuibles y accesibles para el mayor número de usuarios posibles, conviene estudiar qué plataformas y dispositivos soportan el *framework* .NET, tanto en su versión para PC como en su versión CF.

Existen multitud de versiones del *framework* .NET publicadas por Microsoft [41]. No obstante, se pueden resumir en cinco versiones principales: 1.0, 1.1, 2.0, 3.0 y 3.5. La última versión publicada es la 4.0, pero ha sido publicada tan recientemente que ha quedado descartada de este estudio. Cada una de estas versiones cuenta con uno o más *service pack* que modifican y mejoran el *framework*, pero que también modifican sus requisitos y que sistemas lo pueden soportar. La *Tabla 9* muestra la lista de versiones de .NET y los sistemas que las soportan. Puesto que cada vez más aplicaciones utilizan .NET, Microsoft adopto la estrategia de integrar el *framework* en sus sistemas operativos, de forma tal que el último sistema operativo publicado por la compañía suele contener la última versión estable del *framework*.

Principales versiones de .NET Framework		
Versión	Soportada pero no integrada	Integrada en el sistema
1.0	Windows 98 y posteriores	-
1.1	Windows 98 y posteriores	Windows Server 2003 y posteriores
2.0	Windows 98 y posteriores	Windows Server 2003 R2 y posteriores
2.0 SP2	Windows 2000 SP4 y posteriores	Windows Server 2003 R2 y posteriores
3.0	Windows XP SP2, Server 2003 y posteriores	Windows Vista, Server 2008 y posteriores
3.5	Windows XP SP2, Server 2003 y posteriores	Windows Vista y posteriores
3.5 SP1	Windows XP SP2, Server 2003 y posteriores	Windows 7, Server 2008 R2 y posteriores

Tabla 9 - Principales versiones de .NET Framework

Cuanto mayor es la versión del *framework* mayores suelen ser las prestaciones que proporciona, aunque su accesibilidad en sistemas operativos con varios años de antigüedad se reduce. Por norma general si no se van a utilizar en el diseño de la

aplicación características avanzadas que solo estén disponibles en versiones posteriores suele ser una buena práctica utilizar la versión 2.0, para garantizar que la aplicación pueda funcionar en un sistema con Windows 2000 SP4 y posteriores.

.NET CF tiene también una progresión de versiones parecida a la de .NET, con la diferencia de que los sistemas operativos que van a soportar a la plataforma son sistemas operativos enfocados dispositivos móviles o sistemas embebidos [42]. .NET CF no tiene versiones 1.1 y 3.0. La *Tabla 10* muestra las principales versiones de .NET CF y los sistemas operativos que las soportan.

<b>Principales versiones de .NET Compact Framework</b>		
<b>Versión</b>	<b>Soportada pero no integrada</b>	<b>Integrada en el sistema</b>
1.0	Pocket PC 2000 y posteriores Windows CE 4.1 y posteriores	Windows Mobile 2003 y posteriores Windows Mobile 5.0
2.0	Windows Mobile 2003 y posteriores Windows CE 4.2 y posteriores Windows Embedded CE 6.0	Windows Mobile 5.0 Windows Mobile 6
3.5	Windows Mobile 2003 y posteriores Windows Mobile 5.0 Windows Mobile 6 Windows CE 4.2 y posteriores Windows Embedded CE 6.0	-

*Tabla 10 - Principales versiones de .NET Compact Framework*

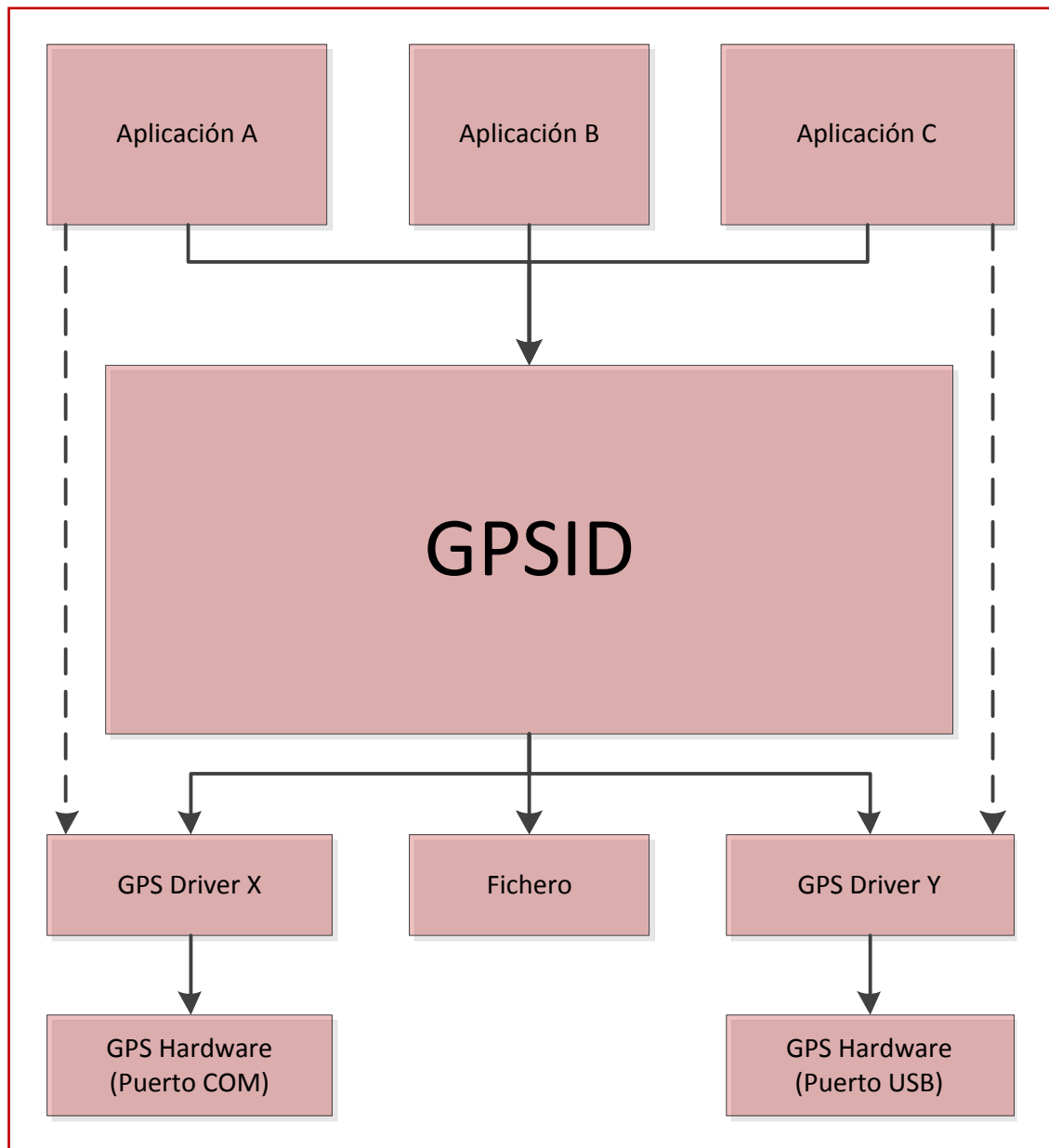
Se puede observar en la tabla como, de forma similar a lo sucedido con las versiones de .NET, existe una relación inversamente proporcional entre las prestaciones y la disponibilidad de la versión. La versión 2.0 se presenta como la más equilibrada, ya que forma parte de las bibliotecas de los sistemas Windows Mobile 5.0 y Windows Mobile 6 (versiones estándar y profesional).

#### **2.4.2.GPSID**

El GPS *Intermediate Driver* [43] es una característica del sistema operativo Windows Mobile 6.5 que permite a los programadores de aplicaciones acceder fácilmente a los datos suministrados por el *hardware* GPS del dispositivo.

Consiste en un controlador en forma de capa que abstrae el *hardware* GPS a los programadores, lo cual les permite escribir código que funcione con cualquier tipo de *hardware* GPS. Funciona como un multiplexor que selecciona los datos de distintas fuentes en función de la configuración. La *Ilustración 27* muestra la relación entre el GPSID y las aplicaciones que van a solicitar datos GPS.





*Ilustración 27 - Arquitectura del GPSID*

Un número N de aplicaciones solicitan datos al GPSID utilizando el API que este proporciona. Internamente el GPSID seleccionará uno de los dispositivos GPS con los que cuente el teléfono o la PDA. Puede tratarse de un hardware integrado conectado a un puerto COM de la placa base, de una antena GPS extraíble conectada mediante un cable USB o de un fichero que contenga datos GPS en formato NMEA. El GPSID interactuara con el dispositivo seleccionado y extraerá los datos para proporcionárselos a las aplicaciones.

Las aplicaciones que utilicen el GPSID serán portables a otras plataformas que dispongan de GPSID independientemente del hardware GPS que utilicen. Las

aplicaciones también pueden interactuar directamente con los drivers saltándose la capa del GPSID, lo cual proporciona mayor rendimiento aunque reduce la portabilidad.

Las ventajas que proporciona el GPSID son las siguientes:

- ✓ Permite a múltiples aplicaciones acceder simultáneamente al hardware GPS, proporcionando datos a todas ellas. En ausencia del GPSID una sola aplicación adquiere el control del hardware GPS y lo monopoliza, impidiendo la concurrencia de múltiples aplicaciones.
- ✓ Proporciona a las aplicaciones un API sencilla y fácil de utilizar eliminando la necesidad de interpretar la complicada trama de datos NMEA que proporcionan el *hardware* GPS.
- ✓ Ofrece una interfaz común que unifica el acceso a diferentes fuentes de datos GPS, proporcionando portabilidad a las aplicaciones que lo utilizan.





**ANÁLISIS**

### 3. ANÁLISIS

#### 3.1. Alternativas de solución

Ante la situación planteada a lo largo del apartado 2. *ESTADO DEL ARTE*, se plantean las diferentes alternativas para implementar el proyecto de desarrollar un sistema de seguimiento para entornos aislados. Ante estas alternativas se deberán tomar decisiones de diseño que tendrán posteriormente un gran impacto en la aplicación final, y por tanto deberán justificarse plenamente con argumentos de peso.

##### 3.1.1. Aplicaciones de la solución

En primer lugar, puesto que el sistema deberá funcionar en entornos aislados, no se debe contar con aumentaciones del GPS ni con ningún tipo de enlace a datos durante el tiempo que el usuario este navegando con el sistema. Ello implica que no se podrán realizar descargas de ningún tipo de recurso como puedan ser mapas o rutas en tiempo real mientras el usuario utiliza su GPS. El usuario deberá descargar previamente los mapas que necesite y configurar sus rutas desde un entorno no aislado en el que si cuenta con acceso a internet.

Se tienen por tanto dos funcionalidades principales: la navegación y la descarga y configuración de los recursos del usuario. Se pueden implementar ambas funcionalidades en una única aplicación que funcione sobre el dispositivo móvil, en cuyo caso este dispositivo requerirá capacidad de enlace a datos además del *hardware* GPS. Esto simplificaría los elementos que el usuario debe gestionar, aunque la interfaz limitada de los dispositivos móviles reduciría la capacidad del usuario para gestionar sus mapas y sus rutas.

Otra opción consiste en implementar dos aplicaciones diferenciadas. Una aplicación que funcione sobre el dispositivo móvil y se encargue de la navegación con GPS y otra aplicación de escritorio que funcione en un PC común, que permita al usuario la descarga y gestión de sus mapas desde una interfaz más cómoda. Ambas aplicaciones deberán sincronizarse mediante algún mecanismo el cual se decidirá en el siguiente apartado 3.1.2. *Sincronización de los* .

Ante estas dos opciones, es preferible la opción de dos aplicaciones para que el usuario pueda gestionar más cómodamente sus mapas. Además, un PC tiene más ancho de banda que un dispositivo móvil, factor importante a la hora de descargar imágenes de la red.

- **Desarrollo de dos aplicaciones: una aplicación para PC en la cual el usuario gestionará los mapas y las rutas que vaya a necesitar, y otra para dispositivo móvil con GPS, en la cual el usuario realizará la navegación y el seguimiento de sus rutas.**

### 3.1.2. Sincronización de los recursos

Ambas aplicaciones deberán sincronizarse para que los recursos obtenidos en la aplicación de escritorio (mapas descargados y rutas prediseñadas) puedan transferirse a la aplicación que funcionará sobre el dispositivo de navegación. Para realizar tal sincronización, existen multitud de opciones.

Se pueden optar por comunicaciones síncronas basadas en conexiones TCP/IP como ActiveSync de Microsoft [44], o desarrollar un protocolo propio. Esta sería la opción más cómoda para el usuario, aunque también la más costosa de implementar. Otra opción es implementar una comunicación asíncrona basada en transferencia de ficheros con algún tipo de formato. Esta opción aumenta la complejidad para el usuario ya que debe gestionar los ficheros de recursos, no obstante reduce los costes y los plazos del proyecto.

Finalmente, se ha priorizado sobre la reducción de costes y la facilidad de implementación y se ha optado por una transferencia de los recursos mediante ficheros en formato XML. Las aplicaciones contarán con capacidad para guardar y cargar los recursos en el formato XML adoptado. La transferencia de los ficheros la realizará el usuario como considere apropiado (conectando el dispositivo móvil al PC mediante USB y utilizando un explorador de archivos, correo electrónico, etc.).

- **Transferencia de mapas y rutas entre ambas aplicaciones mediante ficheros en formato XML.**

### 3.1.3. Plataformas

Las plataformas de desarrollo sobre las que van a funcionar las aplicaciones deben de estar suficientemente difundidas como para que la solución sea ampliamente distribuable y la decisión de adoptar una u otra no suponga limitaciones a la hora de adquirirla y utilizarla.

En este contexto las plataformas más universales son Microsoft .NET y Java, ambas con versiones tanto para PC como para dispositivo móvil y con entornos de desarrollo cómodos y accesibles. En este caso, se ha preferido la opción de Microsoft .NET por su arquitectura del GPSID descrita en el apartado 2.4.2. *GPSID*. Dicha arquitectura plantea una forma fácil y sencilla de interactuar con el *hardware* GPS y está ampliamente documentada al igual que el resto de la plataforma. Además, para el diseño de interfaces de usuario en aplicaciones de escritorio y dispositivos móviles resultan más apropiadas las bibliotecas *WinForms* de .NET que el API de Java *Swing*, ya que resultan más consistentes y están mejor desarrolladas.

- **Desarrollo de la aplicación sobre dispositivo móvil para .NET *Compact Framework* v2.0 y *Windows Mobile* 6.**
- **Desarrollo de la aplicación de escritorio para .NET *Framework* v2.0 y *Windows XP* o superior.**

### 3.1.4. Fuentes de mapas

Se han estudiado dos principales servidores de mapas para ser utilizados como recursos fuente para las aplicaciones a desarrollar: SIGPAC y *Google Static Maps*.

Ambos servidores son muy diferentes entre sí y cada uno cuenta con sus ventajas e inconvenientes. Ambos están basados en la descarga de imágenes estáticas por HTTP mediante la construcción de una URL donde se indican los parámetros. La URL de *Google Static Maps* cuenta con muchos más parámetros configurables y por tanto permite una mayor flexibilidad en la selección de la imagen.

No obstante, la opción de descarga de imágenes satelitales no estuvo disponible en *Google Static Maps* en el momento de comenzar el proyecto, por lo cual en caso de elegir esta opción las aplicaciones deberían trabajar con mapas de carreteras.

SIGPAC si cuenta con imágenes satelitales, no obstante su interfaz WMS tampoco estaba disponible al tomar la decisión de cómo obtener los mapas, por ello solo se puede trabajar con su interfaz basada en URLs no documentadas.

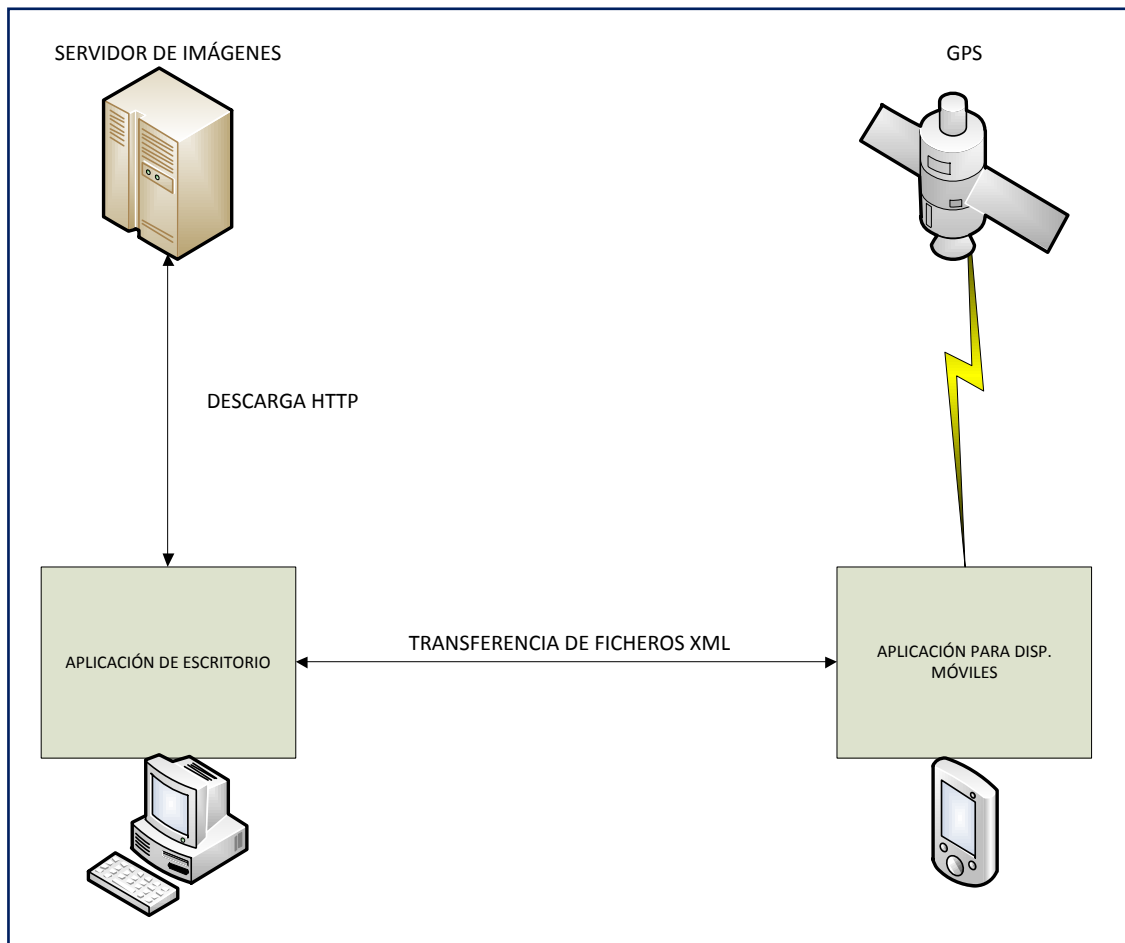
SIGPAC se postula por tanto como la mejor opción. No obstante, SIGPAC trabaja con una indización de los mapas en base a sus coordenadas UTM en *datum* ED-50, descrita en los apartados 2.1.7. *Coordenadas UTM* y 2.3.1. *SIGPAC*, mientras que las coordenadas GPS se encuentran en sistema geográfico, descrito en el apartado 2.1.6. *Coordenadas geográficas*, y en *datum* WGS84.

Si se desea utilizar SIGPAC como recurso fuente se deberán implementar las formulas de transformación descritas en los apartados 2.1.9. *Transformaciones entre sistemas de coordenadas* y 2.1.10. *Transformaciones entre distintos datums* y obtener los parámetros de la transformación de Helmert de [30].

- **Descargar los mapas del servidor SIGPAC e implementar las fórmulas de Coticchia-Surace para transformaciones entre sistemas de coordenadas, y la transformación de Helmert para realizar cambio de *datum*, para hacer compatibles las coordenadas de los mapas y del sistema GPS.**

### 3.1.5. Esquema general de la solución

A continuación se muestra en la *Ilustración 28* el esquema general de la solución, en el que participan las dos aplicaciones desarrolladas manejadas por el usuario, los sistemas externos GPS y SIGPAC, y las interrelaciones entre ellos.



*Ilustración 28 - Esquema general de la solución*

### 3.2. Estudio de casos de uso

A continuación se van a describir un conjunto reducido de casos de uso que describirán las operaciones básicas que se pueden realizar con las aplicaciones a desarrollar.



## 3.2.1. Aplicación para PC

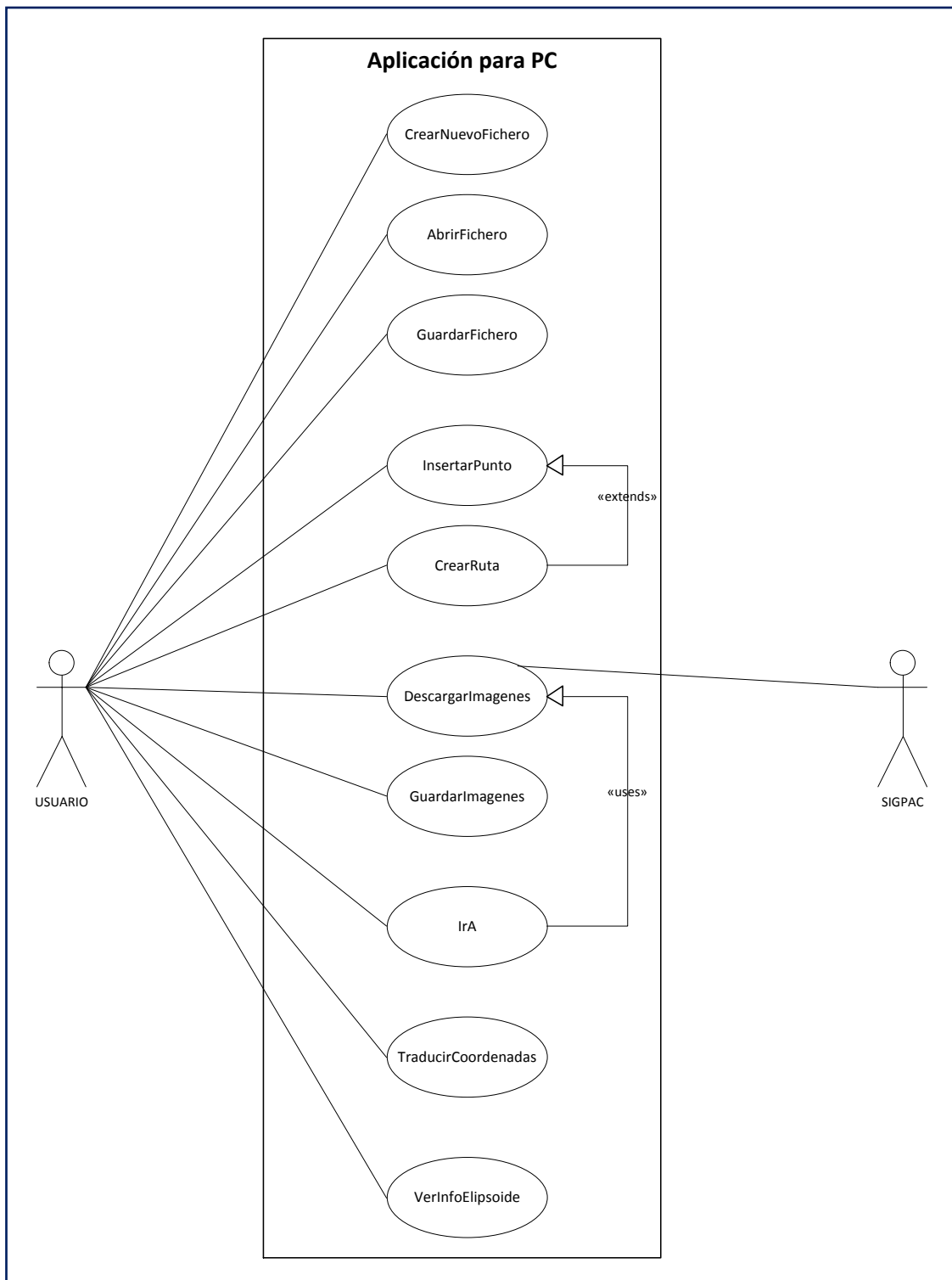


Ilustración 29 - Diagrama de casos de uso para la aplicación para PC

## ANÁLISIS

Crear Nuevo Fichero			
ID	CU-PC001	Nombre	Crear Nuevo Fichero
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario crea un nuevo fichero vacio sin puntos ni imágenes guardadas que posteriormente rellenará.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario decide comenzar una nueva ruta.		2-Ello implica borrar todos los puntos almacenados previamente.	
3-Irá al menú <i>Archivo</i> .		4-Pulsará la opción <i>Nuevo</i> .	
5-Se borrarán los listados de imágenes y puntos que tenía guardada la aplicación.			
Poscondiciones			
Lista de puntos e imágenes vacías.			

Tabla 11 - Caso de uso CU-PC001: Crear Nuevo Fichero

Abrir Fichero			
ID	CU-PC002	Nombre	Abrir Fichero
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario abre un archivo que contiene una ruta y carga los puntos que contiene dicho archivo.			
Precondiciones			
Existe un archivo previo con una ruta almacenada, creado mediante la propia aplicación para PC o mediante la aplicación para dispositivo móvil con GPS.			
Flujo normal			
1-El usuario decide abrir un archivo previo en su sistema de archivos.		2-Ello implica borrar todos los puntos almacenados previamente.	
3-Irá al menú <i>Archivo</i> .		4-Pulsará la opción <i>Abrir</i> .	
5-Navegara por el dialogo emergente hasta localizar su archivo.		6-Lo seleccionará.	
7-Se borrarán los listados de imágenes y puntos que tenía guardada la aplicación.		8-Se cargarán los existentes en ese archivo.	
Poscondiciones			
Puntos contenidos en el fichero cargados en la aplicación y visualizándose en la ventana principal.			

Tabla 12 - Caso de uso CU-PC002: Abrir Fichero

Guardar Fichero			
ID	CU-PC003	Nombre	Guardar Fichero
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario guarda en un fichero la ruta que ha diseñado y los mapas asociados a esta.			
Precondiciones			
Lista de puntos que conforman una ruta seleccionados por el usuario y lista de imágenes asociadas a dichos puntos o imágenes independientes.			
Flujo normal			
1-El usuario decide guardar la ruta que ha creado y los mapas que ha descargado.		2-Irá al menú <i>Archivo</i> .	
3-Pulsará la opción <i>Guardar como</i> .		4-Navegará por el dialogo emergente hasta localizar una carpeta.	
5-Seleccionara un nombre para el archivo.		6-Aceptará	
Poscondiciones			
Lista de puntos del usuario e imágenes descargadas almacenadas en un fichero XML en el sistema de archivos del equipo del usuario.			

Tabla 13 - Caso de uso CU-PC003: Guardar Fichero

Insertar Punto			
ID	CU-PC004	Nombre	Insertar Punto
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario selecciona un punto sobre el mapa o por sus coordenadas y lo incluye en la ruta.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario visualizará sobre el mapa de la ventana un punto que quiere incluir en su ruta.		2-Situara el cursor del ratón sobre dicho punto.	
3-Realizará doble <i>click</i> sobre él.		4-El punto se insertará en la lista de puntos con un nombre predefinido.	
Poscondiciones			
Punto seleccionado por el usuario insertado en la lista de puntos de la aplicación, e imagen de donde se encuentra el punto almacenada en la lista de imágenes.			

Tabla 14 - Caso de uso CU-PC004: Insertar Punto

## ANÁLISIS

Crear Ruta			
ID	CU-PC005	Nombre	Crear Ruta
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario repite N veces la inserción de puntos y posteriormente realiza ajustes adicionales como modificar el nombre de los puntos.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario insertará N puntos (CU-PC004)		2-Decidirá si los puntos son adecuados.	
3-Seleccionará en la lista de puntos aquellos que desee borrar.		4-Los borrará pulsando la tecla <i>Supr.</i>	
5-Decidirá si quiere cambiar algún nombre de los puntos insertados restantes.		6-Seleccionará el punto al que va a cambiar de nombre.	
7-Introducirá el nuevo nombre.		8-Aceptará	
Poscondiciones			
N puntos insertados en la lista de puntos de la aplicación que conforman una ruta, e imágenes que contienen dichos puntos almacenadas en la lista de imágenes de la aplicación.			

Tabla 15 - Caso de uso CU-PC005: Crear Ruta

Descargar Imágenes			
ID	CU-PC006	Nombre	Descargar Imágenes
Actores	Usuario, SIGPAC		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario selecciona unas coordenadas y el sistema descarga de SIGPAC los mapas asociados a esas coordenadas.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario conoce unas coordenadas que desea visualizar en el mapa de la aplicación.		2-Introduce dichas coordenadas en la aplicación.	
3-Pulsa el botón <i>Descargar Imágenes</i> .		4-La aplicación se conecta al servidor SIGPAC y descarga las imágenes asociadas.	
5-El usuario visualiza el mapa asociado a las coordenadas introducidas.			
Poscondiciones			
Imágenes asociadas a las coordenadas introducidas mostrándose en la ventana principal de la aplicación.			

Tabla 16 - Caso de uso CU-PC006: Descargar Imágenes

Guardar Imágenes			
ID	CU-PC007	Nombre	Guardar Imágenes
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario guarda en el fichero las imágenes que actualmente visualiza en la aplicación, sin necesidad de asociarlas ninguna ruta.			
Precondiciones			
Imágenes cargadas en la ventana principal de la aplicación.			
Flujo normal			
1-El usuario desea guardar en el fichero las imágenes visualizadas aunque no tengan asociada ninguna ruta.		2-Pulsa el botón <i>Almacenar Imágenes</i> .	
Poscondiciones			
Imágenes mostradas en la ventana principal de la aplicación almacenadas en el fichero XML.			

*Tabla 17 - Caso de uso CU-PC007: Guardar Imágenes*

Ir A			
ID	CU-PC008	Nombre	Ir A
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario visualiza los mapas al norte, al sur, al este o al oeste del mapa que se está mostrando actualmente.			
Precondiciones			
Imágenes cargadas en la ventana principal de la aplicación.			
Flujo normal			
1-El usuario desea visualizar las imágenes al norte, al sur, al este o al oeste de las imágenes cargadas en la ventana principal.		2-Pulsa el botón correspondiente según donde se quiera desplazar.	
3-La aplicación se descarga los mapas (CU-PC006)		4-La ventana muestra las imágenes determinadas.	
Poscondiciones			
Imágenes al norte, sur, este u oeste de las imágenes mostradas previamente mostrándose en la ventana principal de la aplicación.			

*Tabla 18 - Caso de uso CU-PC008: Ir A*

Traducir Coordenadas			
ID	CU-PC009	Nombre	Traducir Coordenadas
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario introduce unas coordenadas en un sistema de coordenadas y <i>datum</i> origen y las visualiza en sistema de coordenadas y <i>datum</i> destino.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario conoce unas coordenadas en sistema de coordenadas y <i>datum</i> origen.		2-Selecciona el <i>datum</i> origen en la ventana principal.	
3- Introduce las coordenadas origen en los campos correspondientes de la ventana principal.		4- Selecciona el <i>datum</i> destino.	
5-Las coordenadas traducidas aparecen automáticamente en la ventana principal.			
Poscondiciones			
Coordenadas en sistema y <i>datum</i> destino mostrándose en la ventana principal de la aplicación.			

Tabla 19 - Caso de uso CU-PC009: Traducir Coordenadas

Ver Información Elipsoide			
ID	CU-PC010	Nombre	Ver Información del Elipsoide
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para PC		
Descripción			
El usuario arranca la herramienta adicional que muestra los parámetros del elipsoide seleccionado.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario desea ver los parámetros asociados a un elipsoide en concreto.		2-Selecciona el <i>datum</i> deseado en la ventana principal.	
3-Irá al menú <i>Utilidades</i> .		4-Pulsará la opción <i>Información de la elipsoide</i> .	
5-Se muestra una ventana auxiliar con los parámetros del elipsoide seleccionado.			
Poscondiciones			
Ventana auxiliar con los datos del elipsoide mostrándose junto a la ventana principal.			

Tabla 20 - Caso de uso CU-PC010: Ver Información Elipsoide

## 3.2.2. Aplicación para dispositivo móvil



Ilustración 30 - Diagrama de casos de uso de la aplicación para dispositivo móvil con GPS

Crear Nueva Ruta			
ID	CU-MV001	Nombre	Crear Nueva Ruta
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
Crear una nueva ruta vacía (sin ningún punto) y asociarle un nombre.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Rutas</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Nueva Ruta</i> .		4-Introducirá un nombre para la nueva ruta en el dialogo emergente.	
5-Pulsará <i>Aceptar</i> .			
Poscondiciones			
Nueva ruta vacía añadida a la lista de rutas de la aplicación y seleccionada como ruta actual.			

Tabla 21 - Caso de uso CU-MV001: Crear Nueva Ruta

Abrir Archivo			
ID	CU-MV002	Nombre	Abrir Archivo
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El usuario abre un archivo que contiene una ruta y carga los puntos y las imágenes que contiene dicho archivo.			
Precondiciones			
Existe un archivo previo con una ruta almacenada, creado mediante la aplicación para PC o mediante la propia aplicación para dispositivo móvil con GPS.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2- Expandirá la opción <i>Archivo</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Abrir</i> .		4-Navegara por el dialogo emergente hasta localizar su archivo.	
5-Lo seleccionara		6- Introducirá un nombre para la ruta a cargar en el dialogo emergente.	
7-Pulsará <i>Aceptar</i> .			
Poscondiciones			
Ruta del fichero añadida a la lista de rutas de la aplicación y seleccionada como ruta actual. Imágenes del fichero añadidas a la lista de imágenes de la aplicación.			

Tabla 22 - Caso de uso CU-MV002: Abrir Archivo



Guardar Ruta			
ID	CU-MV003	Nombre	Guardar Ruta
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El usuario guarda en un fichero una de las rutas pertenecientes a la lista de rutas de la aplicación.			
Precondiciones			
Ruta cargada en la lista de rutas de la aplicación.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Archivo</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Guardar</i> .		4-Seleccionará la ruta a guardar de la lista de rutas de la aplicación.	
5-Determinara los parámetros del guardado Nombre del archivo Carpeta Extensión Ubicación (memoria <i>flash</i> o tarjeta)		6-Pulsara <i>Guardar</i> .	
Poscondiciones			
Lista de puntos de la ruta seleccionada almacenados en un fichero XML en el sistema de archivos del dispositivo móvil del usuario.			

Tabla 23 - Caso de uso CU-MV003: Guardar Ruta

Almacenar Puntos			
ID	CU-MV004	Nombre	Almacenar Puntos
Actores	Usuario, Sistema GPS		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El sistema comienza a añadir periódicamente a la ruta actual los puntos en los que está situado el usuario obtenidos a partir del GPS.			
Precondiciones			
GPS encendido y sintonizado. Ruta perteneciente a la lista de rutas de la aplicación seleccionada como ruta actual.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Rutas</i> .	
3-Expandirá la opción <i>Ruta Actual</i> .		4-Seleccionará la opción <i>Almacenar Puntos</i> .	
5-Paseará por aquellos lugares por los que desee, y que tengan cobertura GPS.		6-Periodicamente el sistema irá añadiendo a la ruta las posiciones en las que se encuentre.	
Poscondiciones			
Puntos por los que ha pasado el usuario agregados a la ruta perteneciente a la lista de rutas de la aplicación seleccionada como ruta actual.			

Tabla 24 - Caso de uso CU-MV004: Almacenar Puntos

Rastrear Puntos			
ID	CU-MV005	Nombre	Rastrear Puntos
Actores	Usuario, Sistema GPS		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El sistema elimina periódicamente de la ruta actual el último punto si el usuario ha pasado suficientemente cerca de dicho punto, obteniendo su posición a partir del GPS.			
Precondiciones			
GPS encendido y sintonizado. Ruta perteneciente a la lista de rutas de la aplicación seleccionada como ruta actual.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Rutas</i> .	
3-Expandirá la opción <i>Ruta Actual</i> .		4-Seleccionará la opción <i>Rastrear Puntos</i> .	
5-Paseará por aquellos lugares que le marcan la ruta que está rastreando, y que tengan cobertura GPS.		6-Periodicamente el sistema irá restando de la ruta las posiciones por las que el usuario haya pasado.	
Poscondiciones			
El usuario ha recorrido la ruta actual y en esta se han eliminado los puntos por los que ha ido pasando el usuario.			

Tabla 25 - Caso de uso CU-MV005: Rastrear Puntos

Navegar a Último Punto			
ID	CU-MV006	Nombre	Navegar a Último Punto
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El usuario desea visualizar en el mapa el punto destino de la ruta seleccionada como ruta actual.			
Precondiciones			
Ruta perteneciente a la lista de rutas de la aplicación seleccionada como ruta actual. Imagen almacenada en la lista de imágenes de la aplicación que contenga al punto destino.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Navegar a</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Posición Destino</i> .			
Poscondiciones			
El mapa que contiene la posición del último punto visualizándose en la ventana principal de la aplicación.			

Tabla 26 - Caso de uso CU-MV006: Navegar Último Punto

Configurar Parámetro			
ID	CU-MV007	Nombre	Configurar Parámetro
Actores	Usuario		
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
Descripción			
El usuario puede configurar parámetros de la aplicación como la frecuencia con la que se añaden puntos a la ruta actual cuando se están almacenando puntos.			
Precondiciones			
Ninguna.			
Flujo normal			
1-El usuario irá al menú.		2-Seleccionará la opción <i>Configurar</i> .	
3-Seleccionará el parámetro a configurar.		4-Introducirá el nuevo valor.	
5-Pulsará <i>Aceptar</i> .			
Poscondiciones			
Parámetro de configuración modificado.			

Tabla 27 - Caso de uso CU-MV007: Configurar Parámetro

### 3.3. Especificación de requisitos

A continuación se van a enumerar los requisitos del sistema. Se van a enumerar en primer lugar los requisitos de usuario. En segundo lugar se van a enumerar los requisitos *software*, como evolución de los primeros, separándolos según sean funcionales o no funcionales.

Los requisitos de usuario están descritos en un lenguaje mucho menos técnico y más relajado que los requisitos *software* (funcionales y no funcionales), muchas veces para reflejar fielmente la idea o la frase del cliente que ha desembocado en la creación del requisito. Los requisitos *software* están enunciados empleando un lenguaje menos abierto a interpretaciones o ambigüedades que reduzca los errores de interpretación en futuras fases del proyecto.

Los **requisitos de usuario** se van a catalogar en las siguientes categorías:

- **Capacidad:** Requisitos que describen la funcionalidad del sistema.
- **Restricción:** Requisitos que describen restricciones o condicione que el sistema debe cumplir.

Los **requisitos funcionales** se van a catalogar en las siguientes categorías:

- **Funcionales:** Requisitos que describen una función básica del sistema.
- **Inversos:** Requisitos que describen conceptos que el sistema no va a incluir, con el fin de evitar conflictos y esclarecer los límites y el alcance del sistema.

Los **requisitos no funcionales** se van a catalogar en las siguientes categorías:

- **Rendimiento:** Requisitos relativos al rendimiento exigible del sistema.
- **Interfaz:** Requisitos relativos a la interfaz de usuario del sistema.
- **Operaciones:** Requisitos relativos a las operaciones llevadas a cabo por el sistema.
- **Plataforma:** Requisitos relativos a la plataforma *hardware* y *software* sobre la que va a funcionar el sistema.

Para garantizar una correcta trazabilidad y gestión de los requisitos a lo largo de todo el proyecto, para cada requisito se van a describir los siguientes campos:

1. **Código:** Código unívoco para cada requisito.
2. **Nombre:** Nombre del requisito.
3. **Origen:** Origen del requisito, pudiendo ser el cliente, el desarrollador, el usuario, etc.
4. **Sistema:** Requisito de la aplicación para PC o de la aplicación para dispositivo móvil.
5. **Prioridad:** Prioridad en cuanto a la implementación del requisito. Requisitos con prioridad alta deberán ser implementados cuanto antes.

6. **Necesidad:** Facilidad para prescindir del requisito en caso de ser necesario. Requisitos con alta necesidad resultarán imprescindibles y no podrán ser eliminados.
7. **Estabilidad:** Tendencia a los cambios que tiene el requisito. Requisitos poco estables pueden causar problemas en futuras fases del proyecto.
8. **Descripción:** Descripción del requisito.

### 3.3.1.Requisitos de usuario

RC-PC001					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Mapa		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación mostrará en un panel un mapa.					

Tabla 28 - Requisito de usuario RC-PC001

RC-PC002					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Navegación		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de controles para viajar al norte, al sur, al este y al oeste del mapa actual.					

Tabla 29 - Requisito de usuario RC-PC002

RC-PC003					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Escala		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de controles para cambiar la escala del mapa.					

Tabla 30 - Requisito de usuario RC-PC003

## ANÁLISIS

RC-PC004					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Selección directa		
<b>Origen</b>	Usuario	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá cargar coordenadas en el panel de coordenadas a partir de un punto del mapa.					

Tabla 31 - Requisito de usuario RC-PC004

RC-PC005					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Selección inversa		
<b>Origen</b>	Usuario	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá cargar mapas a partir de las coordenadas que figuren en el panel de coordenadas.					

Tabla 32 - Requisito de usuario RC-PC005

RC-PC006					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Lista de coordenadas		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá almacenar una lista de coordenadas.					

Tabla 33 - Requisito de usuario RC-PC006

RC-PC007					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Lista de mapas		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá almacenar una lista de mapas.					

Tabla 34 - Requisito de usuario RC-PC007

RC-PC008					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Guardar		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá guardar las listas de coordenadas y mapas en un fichero XML.					

Tabla 35 - Requisito de usuario RC-PC008

## ANÁLISIS

RC-PC009					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Cargar		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá abrir ficheros XML del mismo formato e importar las listas de coordenadas.					

Tabla 36 - Requisito de usuario RC-PC009

RC-PC010					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Ruta		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrara sobre los mapas la lista de coordenadas añadiendo a la imagen del mapa algún marcador.					

Tabla 37 - Requisito de usuario RC-PC010

RR-PC001					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	Sistemas de coordenadas		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación tendrá un panel de coordenadas en dos sistemas: geográficas y UTM.					

Tabla 38 - Requisito de usuario RR-PC001

RR-PC002					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	Elipsoides		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación tendrá un control que permitirá al usuario trabajar en dos elipsoides: WGS84 y ED-50.					

Tabla 39 - Requisito de usuario RR-PC002

RR-PC003					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	SIGPAC		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación descargara los mapas del servidor SIGPAC.					

Tabla 40 - Requisito de usuario RR-PC003

## ANÁLISIS

RR-PC004					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	Nombre		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación se llamará <i>PulgarcitoPC</i> .					

Tabla 41 - Requisito de usuario RR-PC004

RC-MV001					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Encendido		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá encender y apagar el <i>hardware</i> GPS.					

Tabla 42 - Requisito de usuario RC-MV001

RC-MV002					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Lista de rutas		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá almacenar una lista de rutas.					

Tabla 43 - Requisito de usuario RC-MV002

RC-MV003					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Lista de imágenes		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá almacenar una lista de imágenes.					

Tabla 44 - Requisito de usuario RC-MV003

RC-MV004					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Nueva ruta		
<b>Origen</b>	Usuario	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá crear nuevas rutas e incluirlas en la lista de rutas.					

Tabla 45 - Requisito de usuario RC-MV004



## ANÁLISIS

RC-MV005					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Cargar		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá abrir ficheros en formato XML e importar la ruta y las imágenes que contenga.					

Tabla 46 - Requisito de usuario RC-MV005

RC-MV006					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Guardar		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá guardar una ruta en un fichero con formato XML.					

Tabla 47 - Requisito de usuario RC-MV006

RC-MV007					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Almacenar puntos		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá añadir puntos a una ruta a través del GPS.					

Tabla 48 - Requisito de usuario RC-MV007

RC-MV008					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Rastrear puntos		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá rastrear una ruta a través del GPS.					

Tabla 49 - Requisito de usuario RC-MV008

## ANÁLISIS

RC-MV009					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Mapa		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrara los mapas que tenga almacenados con marcadores de la posición actual del usuario y puntos de la ruta.					

*Tabla 50 - Requisito de usuario RC-MV009*

RC-MV010					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	Navegación		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación dispondrá de controles para viajar al norte, al sur, al este y al oeste del mapa actual si el mapa adyacente está almacenado en la lista de imágenes de la aplicación.					

*Tabla 51 - Requisito de usuario RC-MV010*

RC-MV011					
<b>Tipo</b>	Capacidad	<b>Nombre</b>	SMS		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Baja
Descripción					
La aplicación permitirá recibir SMS con coordenadas y mostrarlas en los mapas con un marcador.					

*Tabla 52 - Requisito de usuario RC-MV011*

RR-MV001					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	Coordenadas GPS		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación solo trabajará con coordenadas geográficas y <i>datum</i> WGS84					

*Tabla 53 - Requisito de usuario RR-MV001*

## ANÁLISIS

RR-MV002					
<b>Tipo</b>	Restricción	<b>Nombre</b>	Nombre		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación se llamará <i>Pulgarcito</i>					

Tabla 54 - Requisito de usuario RR-MV002

### 3.3.2.Requisitos *software* funcionales

RF-PC001					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Cuadrícula		
<b>Origen</b>	RC-PC001	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación mostrará en su ventana una cuadrícula que contendrá un mapa en forma de imagen por satélite.					

Tabla 55 - Requisito funcional RF-PC001

RF-PC002					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Botones de navegación		
<b>Origen</b>	RC-PC002	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de 4 botones, uno por cada punto cardinal, que permitirán desplazarse por el mapa en la dirección asociada al botón una distancia equivalente a media cuadrícula.					

Tabla 56 - Requisito funcional RF-PC002

RF-PC003					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Botones de <i>zoom</i>		
<b>Origen</b>	RC-PC003	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de dos botones para aumentar y disminuir la escala hasta el máximo y mínimo que soporte el servidor de mapas.					

Tabla 57 - Requisito funcional RF-PC003

## ANÁLISIS

RF-PC004					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Panel de coordenadas		
<b>Origen</b>	RR-PC001	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrara en su ventana un panel con los campos necesarios para que el usuario pueda introducir coordenadas.					

*Tabla 58 - Requisito funcional RF-PC004*

RF-PC005					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Botón de selección directa		
<b>Origen</b>	RC-PC004	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación dispondrá de un botón para descargar del servidor de mapas el mapa correspondiente a las coordenadas que figuren en el panel de coordenadas y mostrarlo en la cuadrícula.					

*Tabla 59 - Requisito funcional RF-PC005*

RF-PC006					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Evento de selección inversa		
<b>Origen</b>	RC-PC005	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá pulsar con el ratón sobre un mapa cargado en la cuadrícula y cargar en el panel de coordenadas las coordenadas correspondientes al punto pulsado.					

*Tabla 60 - Requisito funcional RF-PC006*

RF-PC007					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Lista de puntos		
<b>Origen</b>	RC-PC006	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrará en su ventana una lista de puntos de coordenadas que conformarán una ruta.					

*Tabla 61 - Requisito funcional RF-PC007*

## ANÁLISIS

RF-PC008					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Lista de imágenes		
<b>Origen</b>	RC-PC007	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación almacenara una lista de imágenes similares a las mostradas en la cuadrícula del mapa.					

*Tabla 62 - Requisito funcional RF-PC008*

RF-PC009					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Guardar fichero		
<b>Origen</b>	RC-PC008	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá a través de menú guardar la lista de puntos que conforman una ruta y las imágenes almacenadas por la aplicación en un fichero con formato XML.					

*Tabla 63 - Requisito funcional RF-PC009*

RF-PC010					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Abrir fichero		
<b>Origen</b>	RC-PC009	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá a través del menú abrir un fichero con formato XML y cargar de él la lista de puntos que contenga.					

*Tabla 64 - Requisito funcional RF-PC010*

RF-PC011					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Marcadores		
<b>Origen</b>	RC-PC010	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrara sobre el mapa de la cuadrícula marcadores correspondientes a los puntos de la ruta que figuren en dicha cuadrícula, y líneas rectas que unan cada punto con su siguiente y anterior.					

*Tabla 65 - Requisito funcional RF-PC011*

## ANÁLISIS

RN-PC001					
<b>Tipo</b>	Inverso	<b>Nombre</b>	Responsabilidad SIGPAC		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	-	<b>Necesidad</b>	-	<b>Estabilidad</b>	-
Descripción					
La aplicación no administra ni gestiona el servidor SIGPAC, y por tanto no se hace responsable de los fallos o caídas que pueda sufrir.					

*Tabla 66 - Requisito funcional RN-PC001*

RF-MV001					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Rutas		
<b>Origen</b>	RC-MV002	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación almacenara en memoria un listado de rutas, en forma de lista de listas de puntos de coordenadas.					

*Tabla 67 - Requisito funcional RF-MV001*

RF-MV002					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Ruta actual		
<b>Origen</b>	RC-MV002	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
Una de las rutas de la lista será considerada como ruta actual.					

*Tabla 68 - Requisito funcional RF-MV002*

RF-MV003					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Imágenes		
<b>Origen</b>	RC-MV003	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación almacenara una lista de imágenes correspondientes a mapas.					

*Tabla 69 - Requisito funcional RF-MV003*

## ANÁLISIS

RF-MV004					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Nueva ruta		
<b>Origen</b>	RC-MV004	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá crear una nueva ruta vacía e incluirla en la lista de rutas.					

*Tabla 70 - Requisito funcional RF-MV004*

RF-MV005					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Cargar		
<b>Origen</b>	RC-MV005	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá a través del menú abrir un fichero con formato XML y cargar de él como ruta la lista de puntos que contenga y agregarla a la lista de rutas y agregar también las imágenes incluidas en el fichero a la lista de imágenes.					

*Tabla 71 - Requisito funcional RF-MV005*

RF-MV006					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Guardar		
<b>Origen</b>	RC-MV006	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación permitirá a través de menú guardar la lista de puntos que conforman una ruta y las imágenes almacenadas por la aplicación en un fichero con formato XML.					

*Tabla 72 - Requisito funcional RF-MV006*

RF-MV007					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Modo almacenamiento		
<b>Origen</b>	RC-MV007	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de un estado durante el cual extraerá periódicamente las coordenadas actuales del GPS y las agregará a la ruta actual, formando la ruta por donde el usuario se está desplazando.					

*Tabla 73 - Requisito funcional RF-MV007*

## ANÁLISIS

RF-MV008					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Modo rastreo		
<b>Origen</b>	RC-MV008	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación dispondrá de un estado durante el cual extraerá periódicamente las coordenadas actuales del GPS y las comparará con el último punto de la ruta actual, si están suficientemente cerca eliminará de la ruta actual el último punto, permitiendo al usuario rastrear la ruta.					

*Tabla 74 - Requisito funcional RF-MV008*

RF-MV009					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Cuadrícula reducida		
<b>Origen</b>	RC-MV009	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrará en su ventana una cuadrícula que permitirá visualizar los mapas almacenados en la lista de imágenes					

*Tabla 75 - Requisito funcional RF-MV009*

RF-MV010					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Localización		
<b>Origen</b>	RC-MV009	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación mostrará en el mapa de la cuadrícula la posición actual del usuario así como los puntos de la ruta actual mediante marcadores.					

*Tabla 76 - Requisito funcional RF-MV010*

RF-MV011					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	Navegación		
<b>Origen</b>	RC-MV010	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Baja
Descripción					
La aplicación dispondrá de 4 opciones de menú, una por cada punto cardinal, que permitirán desplazarse por el mapa en la dirección asociada a la opción si el mapa adyacente se encuentra en la lista de imágenes.					

*Tabla 77 - Requisito funcional RF-MV011*



## ANÁLISIS

RF-MV012					
<b>Tipo</b>	Funcional	<b>Nombre</b>	SMS		
<b>Origen</b>	RC-MV011	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación permitirá recibir mensajes de texto que contengan coordenadas y mostrar las coordenadas recibidas sobre la cuadrícula del mapa.					

*Tabla 78 - Requisito funcional RF-MV012*

### 3.3.3.Requisitos *software* no funcionales

RI-PC001					
<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Bandera		
<b>Origen</b>	RC-PC010	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Baja
Descripción					
El marcador tendrá forma de una bandera.					

*Tabla 79 - Requisito no funcional RI-PC001*

RI-PC002					
<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Sistemas de coordenadas		
<b>Origen</b>	RR-PC001	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
El panel de coordenadas incluirá campos para mostrar simultáneamente cada punto de coordenadas en dos sistemas: coordenadas geográficas y coordenadas UTM.					

*Tabla 80 - Requisito no funcional RI-PC002*

RI-PC003					
<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Elipsoides		
<b>Origen</b>	RR-PC002	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación incluirá un control que permitirá al usuario trabajar con coordenadas en <i>datum</i> ED-50 o en <i>datum</i> WGS84, y traducir coordenadas de un <i>datum</i> a otro.					

*Tabla 81 - Requisito no funcional RI-PC003*

## ANÁLISIS

### RI-PC004

<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Atajos		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>					
El usuario dispondrá de atajos rápidos para acceder a las funciones del menú.					

*Tabla 82 - Requisito no funcional RI-PC004*

### RI-PC005

<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Tamaño de cuadrícula		
<b>Origen</b>	RC-PC001	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>					
La cuadrícula que contiene el mapa será de 460x460 píxeles.					

*Tabla 83 - Requisito no funcional RI-PC005*

### RI-PC006

<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Insertar punto 1		
<b>Origen</b>	RC-PC006	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Media
<b>Descripción</b>					
El usuario podrá añadir puntos de coordenadas a la lista de puntos haciendo doble <i>click</i> sobre el punto que quiere añadir en la cuadrícula del mapa.					

*Tabla 84 - Requisito no funcional RI-PC006*

### RI-PC007

<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Insertar punto 2		
<b>Origen</b>	RC-PC006	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
<b>Descripción</b>					
El usuario también podrá añadir puntos de coordenadas a la lista de puntos especificando las coordenadas del punto.					

*Tabla 85 - Requisito no funcional RI-PC007*

## ANÁLISIS

### RI-PC008

<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Nombre de la ventana		
<b>Origen</b>	RR-PC004	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
<b>Descripción</b>					
La ventana principal de la aplicación tendrá como título PulgarcitoPC					

*Tabla 86 - Requisito no funcional RI-PC008*

### RO-PC001

<b>Tipo</b>	Operación	<b>Nombre</b>	SIGPAC		
<b>Origen</b>	RR-PC003	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>					
La aplicación se descargara las imágenes de los mapas por satélite del servidor SIGPAC.					

*Tabla 87 - Requisito no funcional RO-PC001*

### RO-PC002

<b>Tipo</b>	Operación	<b>Nombre</b>	Formato XML		
<b>Origen</b>	RC-PC008	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>					
El formato XML de los ficheros será interpretable por la propia aplicación y por la aplicación para dispositivo móvil con GPS.					

*Tabla 88 - Requisito no funcional RO-PC002*

### RO-PC003

<b>Tipo</b>	Operación	<b>Nombre</b>	Coherencia puntos-imágenes		
<b>Origen</b>	RC-PC006	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>					
Cuando el usuario añada un punto a la ruta, se añadirá a la lista de imágenes la imagen del mapa correspondiente a dicho punto.					

*Tabla 89 - Requisito no funcional RO-PC003*

### RP-PC001

<b>Tipo</b>	Plataforma	<b>Nombre</b>	Internet		
<b>Origen</b>	RR-PC003	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>					
La aplicación requerirá para su correcto funcionamiento conexión a internet.					

*Tabla 90 - Requisito no funcional RP-PC001*

## ANÁLISIS

RP-PC002					
<b>Tipo</b>	Plataforma	<b>Nombre</b>	Plataforma destino		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación se desarrollará para la plataforma .NET v2.0.					

*Tabla 91 - Requisito no funcional RP-PC002*

RO-MV001					
<b>Tipo</b>	Operación	<b>Nombre</b>	Coordenadas GPS		
<b>Origen</b>	RR-MV001	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación trabajará siempre en coordenadas geográficas sobre el <i>datum</i> WGS84.					

*Tabla 92 - Requisito no funcional RO-MV001*

RP-MV001					
<b>Tipo</b>	Plataforma	<b>Nombre</b>	Plataforma .NET CF		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación se desarrollará para la plataforma .NET CF v2.0. y Windows Mobile 6.					

*Tabla 93 - Requisito no funcional RP-MV001*

RP-MV002					
<b>Tipo</b>	Plataforma	<b>Nombre</b>	Dispositivo GPS		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación deberá instalarse sobre un dispositivo móvil con <i>hardware</i> GPS.					

*Tabla 94 - Requisito no funcional RP-MV002*

RI-MV001					
<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Tamaño cuadrícula reducida		
<b>Origen</b>	RC-MV009	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Baja
Descripción					
El tamaño de la cuadrícula será de 256x256 pixeles.					

*Tabla 95 - Requisito no funcional RI-MV001*

## ANÁLISIS

RI-MV002					
<b>Tipo</b>	Interfaz	<b>Nombre</b>	Nombre de la ventana móvil		
<b>Origen</b>	RR-MV001	<b>Sistema</b>	Aplicación para PC		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Necesidad</b>	Media	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La ventana principal de la aplicación tendrá como título Pulgarcito.					

*Tabla 96 - Requisito no funcional RI-MV002*

RD-MV001					
<b>Tipo</b>	Rendimiento	<b>Nombre</b>	Cobertura GPS		
<b>Origen</b>	Cliente	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Necesidad</b>	Alta	<b>Estabilidad</b>	Alta
Descripción					
La aplicación funcionará correctamente solo si se utiliza con el GPS encendido y en un entorno con cobertura GPS.					

*Tabla 97 - Requisito no funcional RD-MV001*

RD-MV002					
<b>Tipo</b>	Rendimiento	<b>Nombre</b>	Encendido y apagado del <i>hardware</i>		
<b>Origen</b>	Desarrollador	<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS		
<b>Prioridad</b>	Baja	<b>Necesidad</b>	Baja	<b>Estabilidad</b>	Media
Descripción					
La aplicación dispondrá de una opción en el menú para activar y desactivar el GPSID.					

*Tabla 98 - Requisito no funcional RD-MV002*



**DISEÑO**

## 4. DISEÑO

Una vez especificados los requisitos del sistema, se procede con la siguiente fase del proyecto: el diseño.

Se va a especificar en este apartado el diseño arquitectónico en el cual se describe la arquitectura *software* de ambas aplicaciones. Posteriormente se especificará el diseño detallado que mostrará los diagramas de clases. Para finalizar, se dedicarán sub-apartados a aspectos interesantes del diseño como es la evolución de las interfaces de usuario, el protocolo de comunicación con el servidor SIGPAC o el formato de intercambio XML de los archivos entre las dos aplicaciones del proyecto.

### 4.1. Diseño arquitectónico

Para la elección de las arquitecturas *software* de las aplicaciones a construir, se han seguido los principios de modularidad, alta cohesión y bajo acoplamiento, que permitan mantener el código organizado, legible, fácil de mantener y minimizar el impacto de las modificaciones o ampliaciones. La elección de estos principios tiene como objetivo desarrollar un producto fácil de construir y mantener por un reducido número de personas aunque ello provoque un aumento del número de líneas de código y un incremento de la duración de la etapa de construcción del sistema.

Hay que tener en cuenta que resulta complicado adaptar arquitecturas *software* teóricas (como las arquitecturas por capas, el MVC, patrones de diseño, etc.) a sistemas reales de forma literal, y más si son complejos e intervienen múltiples participantes como es el caso que nos ocupa. Es inevitable introducir pequeñas modificaciones en el modelo genérico de la arquitectura con el fin de adaptarla a las necesidades específicas del sistema.

#### 4.1.1. Aplicación para PC

Para la aplicación *PulgarcitoPC* se ha decidido utilizar una arquitectura por capas que divida la funcionalidad en tres subsistemas: una capa de presentación que gestionará la interfaz de usuario, una capa de negocio que gestione la lógica de negocio de la aplicación y una capa de datos cuya que gestionará los recursos de información.

Se ha seleccionado la arquitectura por capas para esta aplicación por los siguientes motivos:

- ✓ Principios de modularidad, alta cohesión y bajo acoplamiento ya comentados.
- ✓ Comunicación unidireccional descendente a través de las capas. Ausencia de eventos ajenos al usuario que provoquen llamadas ascendentes (de la capa de datos a la capa de negocio o de la capa de negocio a la capa de presentación).

- ✓ Ausencia de dependencias ascendentes. La capa de presentación solo depende de la capa de negocio, la capa de negocio solo depende de la capa de datos.

Finalmente la arquitectura implementada se muestra en la *Ilustración 31*. En ella se pueden observar las tres capas agrupadas en dos ficheros binarios: el ejecutable de la aplicación que se corresponde a la capa de presentación (*PulgarcitoPCVista.exe*) y una biblioteca de vínculos dinámicos que contiene las capas de negocio y datos (*PulgarcitoPCController.dll*). Existen otras tres bibliotecas que corresponden a utilidades adicionales desarrolladas junto con la aplicación principal pero que no forman parte esencial de esta y no están incluidas en los requisitos del sistema:

- *UtilidadDeConversion.dll*. Muestra una ventana que permite convertir grados sexagesimales en notación decimal a grados, minutos y segundos sexagesimales.
- *UtilidadDeElipsoides.dll*. Muestra una ventana con los parámetros del elipsoide actual (excentricidad, parámetro *a*, etc.).
- *UtilidadDeDepuracion.dll*. Muestra una consola de depuración que muestra trazas de ejecución de la aplicación.

La capa de presentación contiene la interfaz basada en *Windows Forms* con la que interactuará el usuario. Esta capa se plantea como el único punto de entrada de los eventos al sistema provocados por el usuario, como puedan ser la petición de descarga de mapas o la apertura de un fichero de ruta. Dichos eventos se propagarán a la capa de negocio y provocarán los cambios en la aplicación. La capa en si debe ser bastante reducida, con los escasos formularios que maneje el sistema y sin ninguna funcionalidad aparte de la propagación de las acciones del usuario.

La capa de negocio contiene al controlador principal de la aplicación, encargado de coordinar las acciones del usuario propagadas desde la capa de presentación con las peticiones de recursos realizadas a la capa de datos. También propaga los cambios a la vista producidos por las acciones del usuario, aunque estas operaciones se realizan de forma asíncrona mediante el uso de delegados y eventos y no crean una dependencia de la capa de negocio con la capa de presentación (dependencia ascendente en la arquitectura de capas).

La capa de datos contiene la funcionalidad necesaria para acceder a los recursos de información de la aplicación. En la solución actual los recursos no están dentro de los límites del sistema, sino que residen externamente en ficheros XML o en el servidor de imágenes. Por ello, esta capa no cuenta con datos propios en forma de base de datos sino que se plantea como un interfaz para las funciones de acceso a dichos recursos externos.



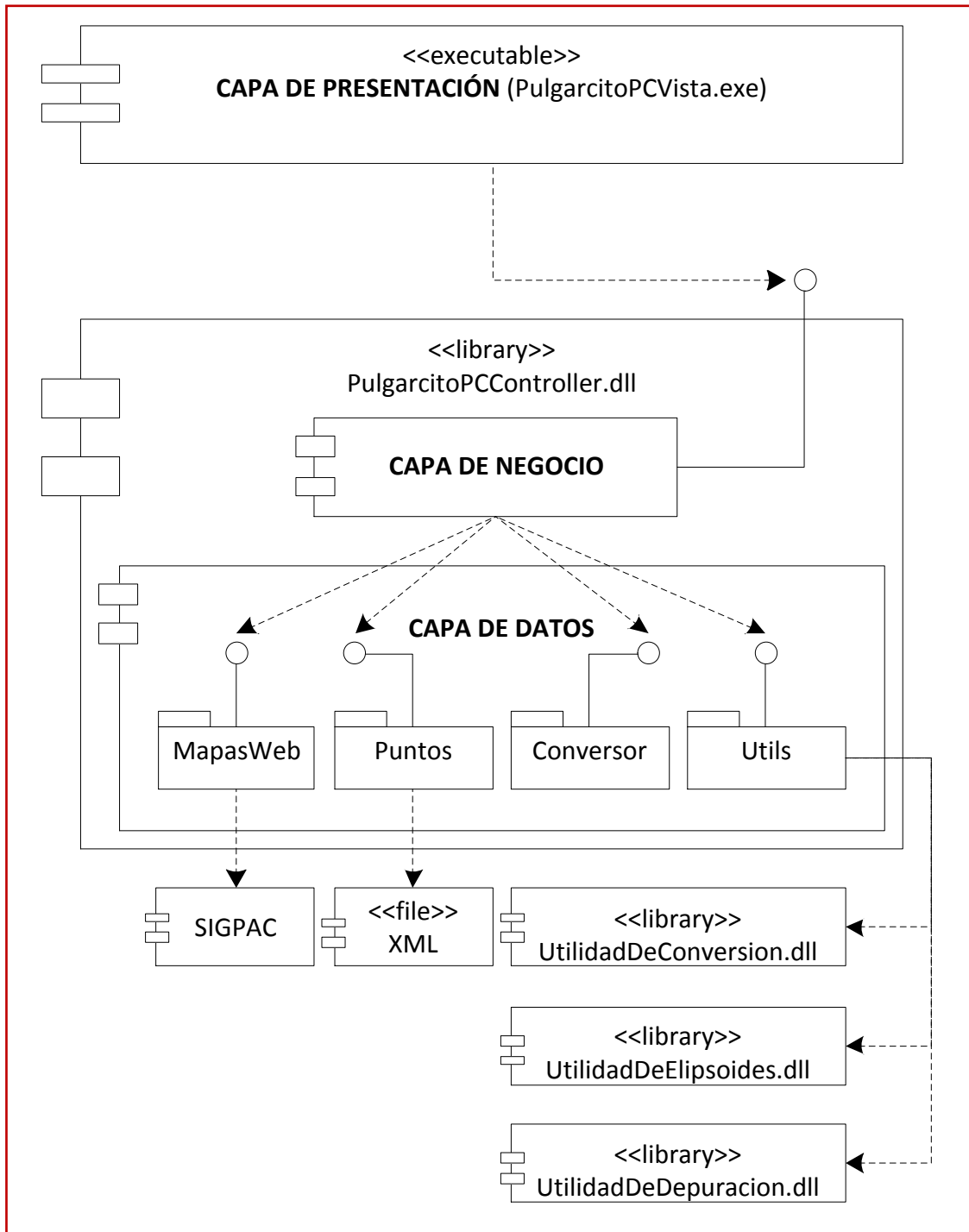


Ilustración 31 - Diseño arquitectónico de la aplicación PulgarcitoPC

#### 4.1.2. Aplicación para dispositivo móvil

Para la aplicación *Pulgarcito* se ha decidido adoptar una arquitectura basada en el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC), que divida la funcionalidad en tres subsistemas. Una vista que representa la interfaz de usuario, un controlador que gestiona la lógica de la aplicación y un modelo que representa los datos y los recursos de la aplicación.

El modelo en este caso representa la interfaz de acceso al GPS a través del GPSID, ya que en esta aplicación el GPS representa la fuente de recursos más importante, junto con los ficheros XML.

El componente vista agrupará la interfaz de usuario (y otras entradas de eventos exteriores como puedan ser las recepciones de mensajes) y propagará los eventos al controlador. También realizará consultas sobre el modelo.

El controlador gestionará los eventos recibidos desde la vista y realizará los cambios en el modelo, como puedan ser activación o desactivación del *hardware* GPS o consultas acerca de la posición actual, además de llevar una gestión de la lógica de la aplicación como puedan ser lista de rutas, mapas almacenados, etc.

A pesar de utilizar una filosofía muy parecida a la de la aplicación homóloga *PulgarcitoPC*, que implementa una arquitectura en tres capas, en este caso se ha seleccionado la arquitectura MVC debido a pequeños matices:

- ✓ Al igual que en la anterior aplicación, se mantienen los principios de modularidad, alta cohesión y bajo acoplamiento ya comentados.
- ✓ En este caso no obstante, existe una mayor dependencia entre los componentes, ya que la vista debe realizar consultas al modelo para conocer el estado del GPS. En el anterior modelo en tres capas toda la interacción entre la capa de presentación y la capa de datos se realizaba a través de la capa de negocio.
- ✓ Eventos provenientes del modelo pueden provocar cambios en la vista (variaciones en el estado del GPS o nuevas localizaciones), lo cual requiere una dependencia entre ambos.

Finalmente la arquitectura implementada se muestra en la *Ilustración 32*. En este caso los tres componentes sí se han dividido en tres archivos binarios diferentes. El ejecutable *Pulgarcito.exe* contiene la vista y es el punto de entrada a la aplicación. El controlador se ha empaquetado en la biblioteca *PulgarcitoController.dll*. El modelo de datos que proporciona la interfaz con el GPSID está basado en un ejemplo de la biblioteca de MSDN [ref] (modificado ya que no funcionaba correctamente), por se ha mantenido el espacio de nombres del ejemplo y el nombre de la biblioteca: *Microsoft.WindowsMobile.Samples.Location.dll*.

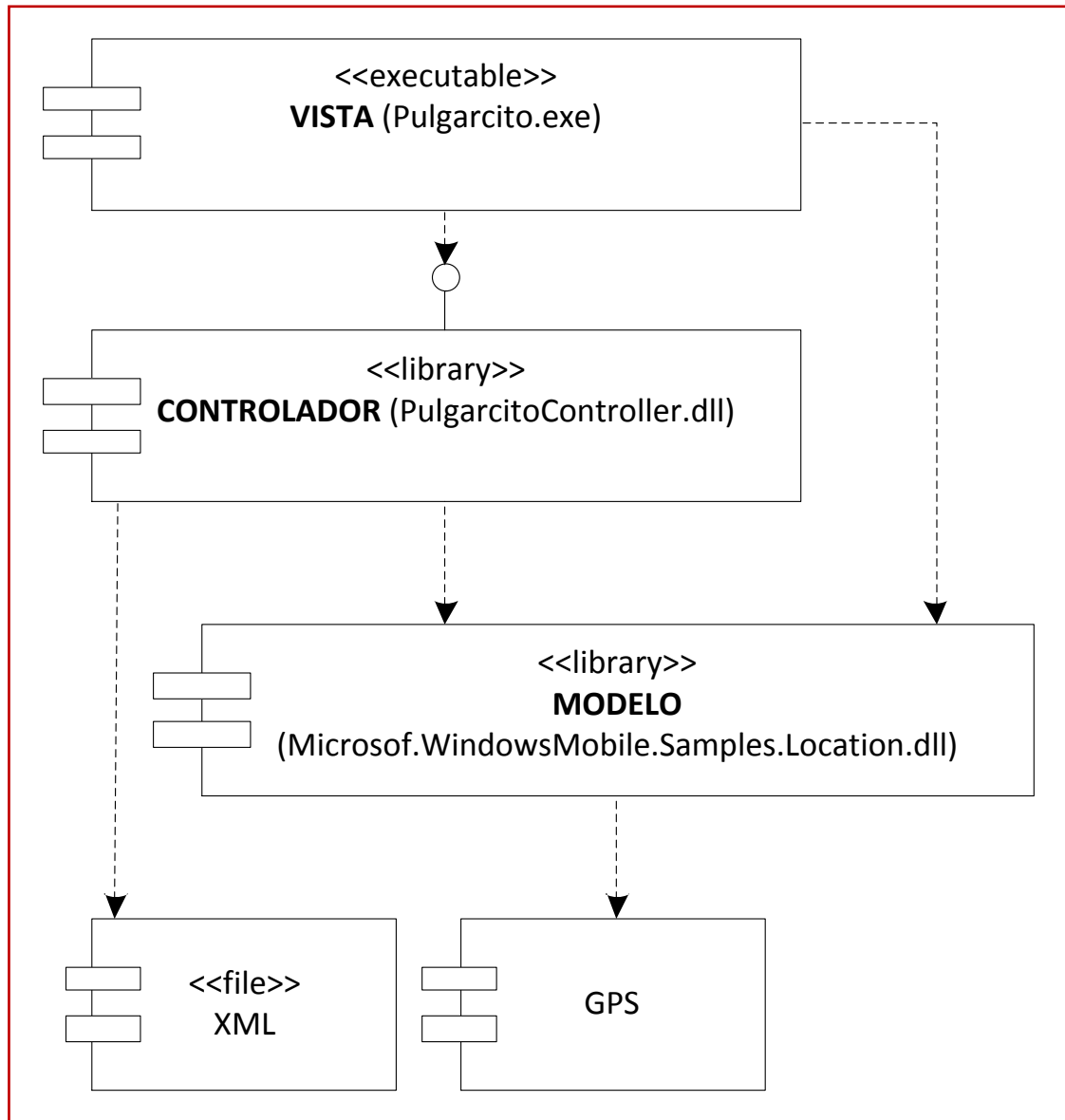


Ilustración 32 - Diseño arquitectónico de la aplicación Pulgarcito

#### 4.2. Diseño detallado

A continuación se va a mostrar el diseño detallado del componente más importante de cada una de las dos aplicaciones diseñadas: las capas de negocio y datos empaquetadas en la biblioteca *PulgarcitoPCController.dll* para la aplicación *PulgarcitoPC* y el controlador empaquetado en la biblioteca *PulgarcitoController.dll* para la aplicación *Pulgarcito*.

Existen varias razones para detallar únicamente dicho componente de cada una de las aplicaciones. En primer lugar por supuesto está la falta de espacio y tiempo en la elaboración de este documento, pero esa no es la única razón. Los componentes asociados a las interfaces de usuario de las aplicaciones están basados en formularios y no ofrecen un modelo de clases que requiera de explicación. La mayor parte de las

clases de dichos componentes utilizan el API de *Windows Forms*, se encuentran aisladas unas de otras y no tienen dependencias más que con el correspondiente controlador. Por otra parte, el modelo que interactúa con el GPSID en la aplicación *Pulgarcito* está basado en código no gestionado y utiliza el API de *Win32* para acceder al GPSID. Esto implica que se trata de un código desarrollado con una metodología de programación estructurada, con un amplio uso de punteros, estructuras, tipos estáticos y ausencia de objetos, lo cual provoca que no resulte apropiado su modelización mediante UML.

#### 4.2.1. Aplicación para PC

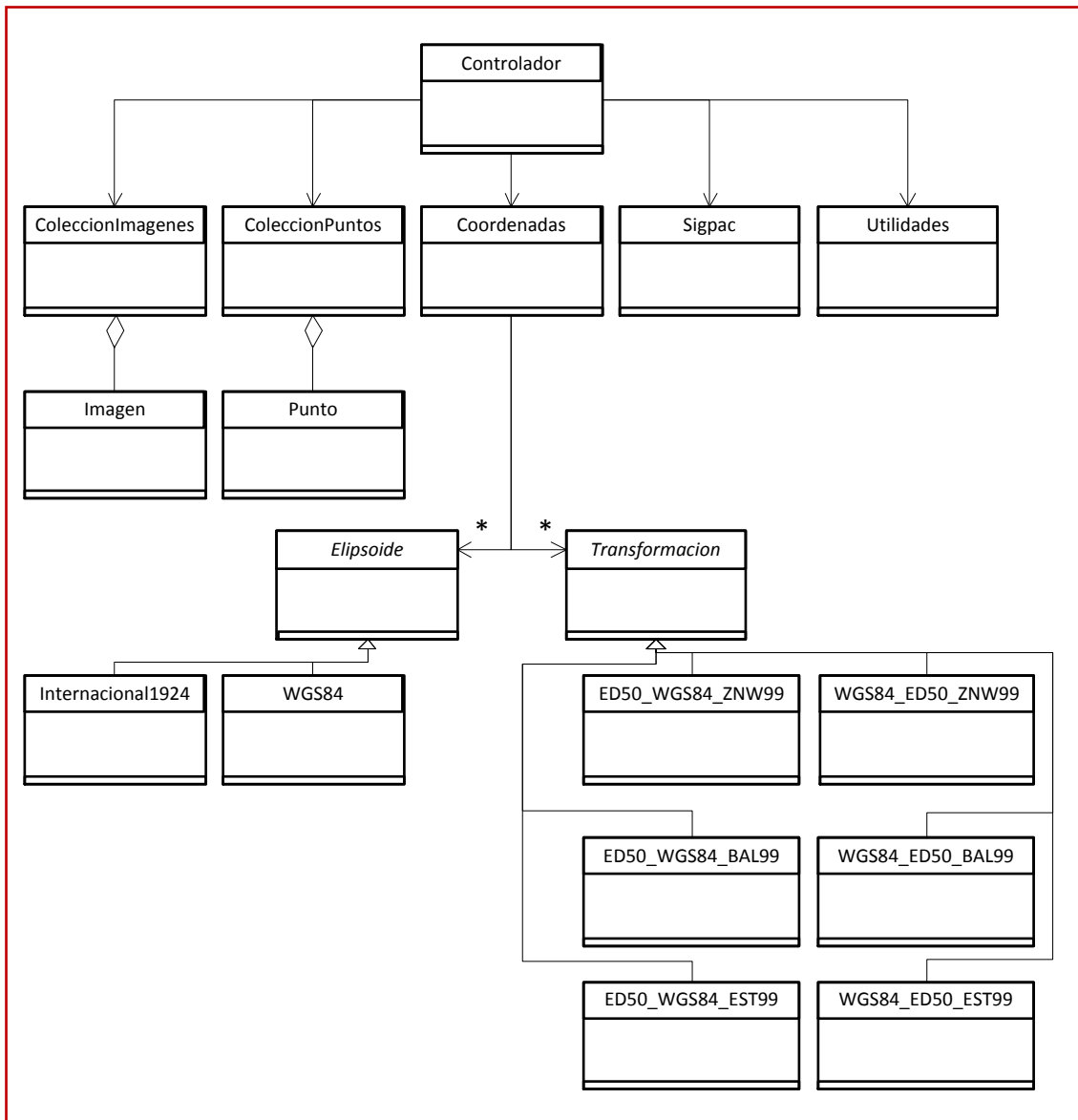
La estructura básica de la biblioteca *PulgarcitoPCController.dll* se muestra en la *Ilustración 33*. Está formada por una clase central denominada *Controlador*, implementada mediante un patrón de diseño *Singleton* [ref], que limita el número de instancias de dicha clase a una sola. Dicha clase ofrece sus operaciones a la interfaz de usuario y por tanto se presenta como el punto de entrada a la capa de negocio.

La clase *Controlador* instancia a las clases *Coordenadas*, *Sigpac*, *ColeccionPuntos*, *ColeccionImagenes* y *Utilidades* representativas de cada una de las áreas funcionales de la aplicación, agrupadas en los paquetes *Conversor*, *MapasWeb*, *Puntos* (dos) y *Utils* respectivamente:

- La clase *Coordenadas* coordina las transformaciones entre los diferentes sistemas de coordenadas y *datums* que soporta la aplicación. Actualmente la aplicación opera con los sistemas de coordenadas geográficas, UTM y cartesianas ECEF. Los *datums* soportados son el WGS84 y el ED50.
- Las clases *Elipsoide* y *Transformacion* son clases abstractas que definen los parámetros y las operaciones a realizar en los cálculos y las traslaciones a realizar por la aplicación. Los elipsoides y transformaciones concretas heredarán de estas clases.
- La clase *Utilidades* contiene la lógica necesaria para invocar las utilidades externas residentes en las bibliotecas adicionales pero en un entorno común a la aplicación principal, de forma concurrente para que el usuario pueda utilizar la aplicación y las utilidades simultáneamente. Esto se consigue mediante hilos de ejecución.
- La clase *Sigpac* implementa la lógica necesaria para la descarga de datos del servidor de imágenes SIGPAC. Ofrece peticiones de imagen en función de las coordenadas o en relación con cuadrículas previas, implementa el algoritmo para la creación de la URL definido en el apartado 4.4. *Formato de la URL de SIGPAC* y realiza la conexión HTTP con el servidor descargando el *stream* de la imagen solicitada.
- Las clases *ColeccionImagenes* y *ColeccionPuntos* contienen listas de objetos *Imagen* y *Punto* que representan los mapas ya descargados y la ruta actual que está construyendo el usuario respectivamente. Implementan la lógica necesaria

para la gestión de dichas listas: agregar imágenes, borrarlas, agregar nuevos puntos a una ruta, etc.

Existen clases incluidas en la biblioteca que no se han mostrado en el diagrama de clases. Las clases estáticas que únicamente ofrecen operaciones (como la lectura y escritura de los ficheros XML), las clases que heredan de *EventArgs* [ref] utilizadas en los eventos asíncronos, y los delegados creados no se han incluido para simplificar el modelo de clases y transmitir una idea más clara de la estructura de la aplicación.



*Ilustración 33 - Diseño detallado de la biblioteca PulgarcitoPCController.dll*

El comportamiento general de la aplicación se puede observar en el diagrama de secuencia descrito en la *Ilustración 34*. En él se puede observar la interacción de los

objetos de las diferentes capas de la aplicación cuando el usuario desencadena un evento mediante una acción.

En este caso el ejemplo muestra cómo el usuario ha pulsado con el ratón sobre un punto en el visor del mapa. La aplicación debe mostrarle las coordenadas del punto en el que ha pulsado, y asumiendo que el usuario está trabajando en el *datum* WGS84, debe mostrárselas en dicho *datum*.

Los objetos participantes son 4: un formulario de la interfaz de usuario (*Form1*), la instancia de la clase *Controlador* y dos instancias pertenecientes a clases de la capa de datos, *Sigpac* y *Coordenadas*. Se puede observar como las capas superiores van invocando los servicios de las capas inferiores.

La capa de presentación recibe el evento del usuario y lo transmite al controlador, que realiza la operación consultando a la capa de datos. A partir de la posición del ratón donde el usuario ha pulsado, se obtienen las coordenadas consultando a la clase *Sigpac*, que contiene información de las imágenes actuales y sus correspondientes coordenadas. Las coordenadas retornadas están en el *datum* ED-50, ya que SIGPAC trabaja con ese sistema de referencia, y puesto que el usuario está trabajando con el *datum* WGS84 se deben transformar las coordenadas de un sistema de referencia a otro. El proceso es complejo y se detalla en el apartado 2.1.10. *Trasformaciones entre distintos datums*, pero baste comentar que requiere de translaciones entre los diferentes sistemas de coordenada (UTM, geográficas y cartesianas) y realizar una transformación de Helmert. Para ello se consulta a la clase *Coordenadas*, que contiene las listas de objetos de tipo *Transformacion* y *Elipsoide* que contienen los parámetros de los cálculos. Una vez obtenidas las coordenadas en *datum* destino, retornan las llamadas hasta la interfaz que se las muestra al usuario.

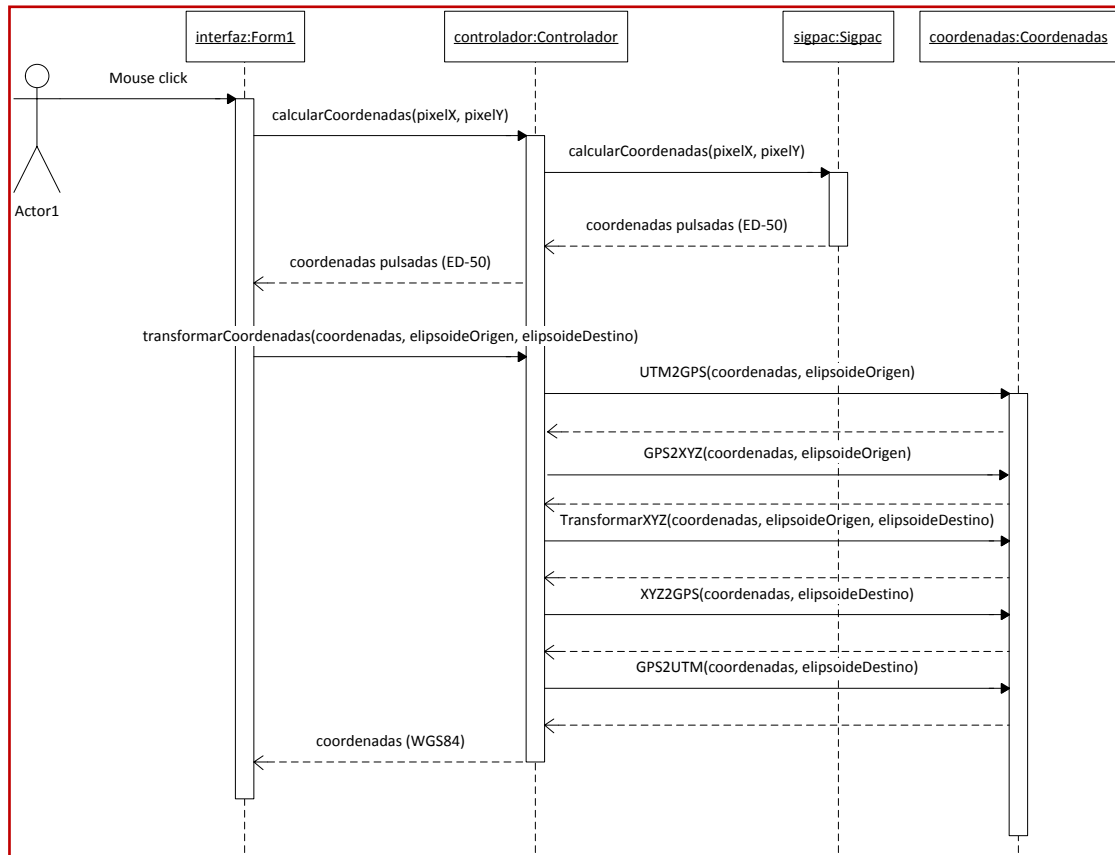


Ilustración 34 - Diagrama de secuencia al pulsar sobre el mapa en la aplicación PulgarcitoPC

#### 4.2.2. Aplicación para dispositivo móvil

La estructura de la biblioteca *PulgarcitoController.dll* se muestra en la *Ilustración 35*. De forma parecida a la biblioteca *PulgarcitoPCController.dll* descrita anteriormente, está formada por una clase central *Controlador* que implementa un patrón *Singleton* limitando el número de instancias de dicha clase a una sola. La clase ofrece la interfaz de operaciones a la vista, realiza cambios en esta mediante eventos asíncronos e inicializa los hilos de ejecución que consultan periódicamente el *hardware* GPS.

La clase *Controlador* instancia dos clases, *Posiciones* e *Imagenes*, que gestionan las rutas del usuario y los mapas almacenados en la memoria de la aplicación. La clase *Posiciones* contiene una lista de rutas y una lista de posiciones de interés que no están incluidas en ninguna ruta pero que el usuario puede considerar interesante almacenar. La clase *Imagenes* contiene una lista de cuadrículas de mapa, con metainformación asociada acerca de las coordenadas correspondientes a cada una de ellas.

La clase *Controlador* gestiona los parámetros de configuración de la aplicación y la información que se muestra por pantalla mediante las clases *ParametrosDeConfiguracion* y *ParametrosDePantalla*. La clase *ParametrosDeConfiguracion* contiene la lista de parámetros configurables de la aplicación así como sus valores por defecto y sus valores actuales. La clase *ParametrosDePantalla* contiene el mapa actual y una lista de campos que se muestran

en la interfaz al usuario. La interfaz de usuario consulta periódicamente estos valores para actualizarlos.

Por último, la clase *Controlador* instancia a la clase *ModoEjecución*, que gestiona el modo de operación en el que está trabajando la aplicación en un momento dado, séase rastrear una ruta, almacenar puntos en una ruta, en pausa, etc.

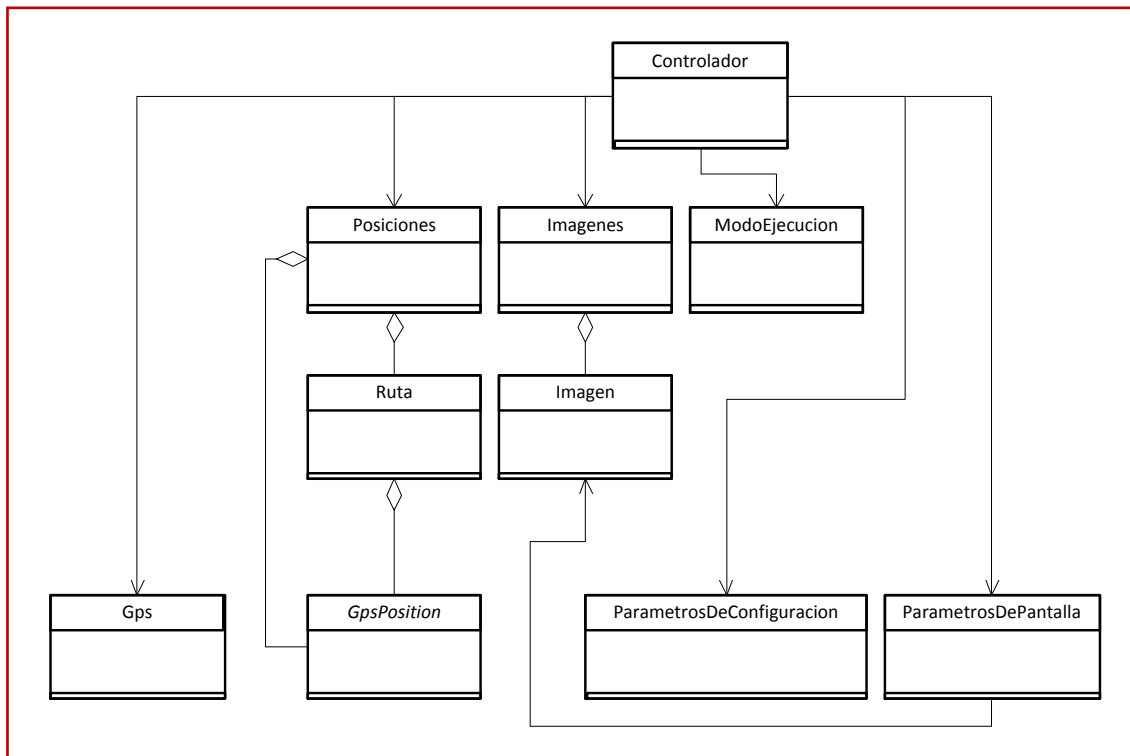


Ilustración 35 - Diseño detallado de la biblioteca *PulgarcitoController.dll*

Al igual que anteriormente con *PulgarcitoPC*, se ejemplifica el comportamiento general de *Pulgarcito* mediante un diagrama de secuencia mostrado en la *Ilustración 36*.



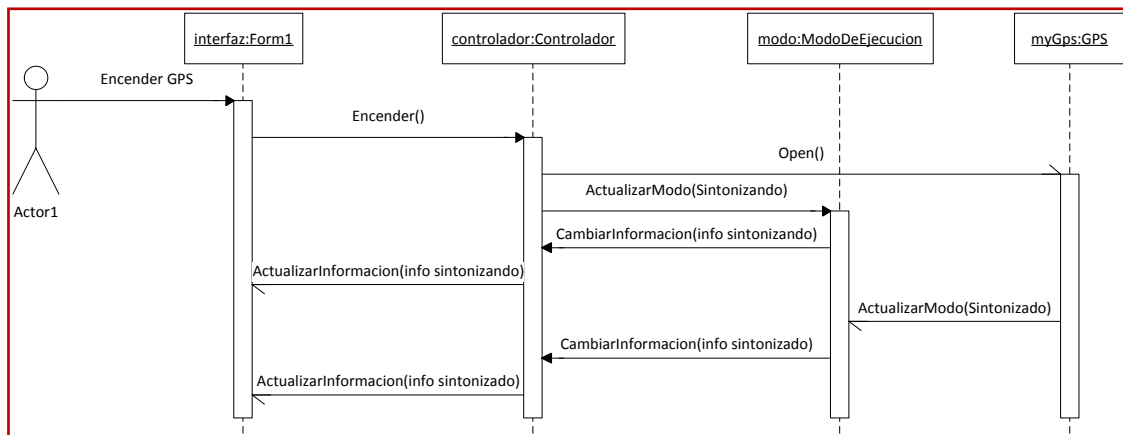


Ilustración 36 - Diagrama de secuencia al encender el HW GPS en la aplicación Pulgarcito

El diagrama mostrado representa las interacciones entre objetos cuando el usuario enciende el GPS en la aplicación. Cuando el usuario enciende el GPS queda a la espera de que el *hardware* sintonice la señal, y hasta entonces no puede activar ningún modo de la aplicación que requiera datos GPS.

La sintonización de la señal es un evento que no proviene del usuario, sino del modelo, no obstante dicho evento debe notificarse a la interfaz, lo cual representa la fundamental diferencia entre la arquitectura de de capas y la arquitectura MVC. En este caso los eventos van en ambas direcciones.

### 4.3. Interfaces

Aunque no forma parte de los requisitos fundamentales del proyecto, la elaboración de un interfaz de usuario amigable y fácil de utilizar tiene una importancia fundamental a la hora de elaborar un producto competitivo que pueda superar a otros productos elaborados por la competencia. Las interfaces de usuario de ambas aplicaciones deben cumplir unas condiciones mínimas de usabilidad y deben resultar intuitivos y atractivos para el usuario.

Estas restricciones adquieren todavía mayor importancia a la hora de trabajar con dispositivos móviles, cuya interfaz de usuario es mucho más limitada y difícil de utilizar que la de un PC. La interfaz de la aplicación *Pulgarcito*, desarrollada para ser utilizada en un dispositivo móvil (un teléfono o una PDA) debe ser estudiada cuidadosamente y probada con el fin de asegurarse de que el producto elaborado no es tedioso o difícil de utilizar para el usuario.

Las interfaces se han desarrollado con en tres etapas, elaborándose en primer lugar dos prototipos de bajo nivel antes de implementar el prototipo real definitivo. Mediante este proceder es más sencillo visualizar el resultado global de la interfaz y analizarla antes de implementar el costoso prototipo definitivo. Las etapas son las siguientes:

1. Bocetos en papel: Prototipos estáticos que exponen las ideas básicas generales de cómo va a ser la interfaz.
2. Esquema detallado: Prototipos estáticos que muestran la situación de los controles y componentes de forma muy similar a como van a ser colocados en la versión definitiva de las aplicaciones.
3. Prototipo de alto nivel: Prototipo definitivo de la aplicación que permite analizar el resultado obtenido.

#### **4.3.1. Aplicación para PC**

La interfaz de usuario de la aplicación *PulgarcitoPC* se ha diseñado con la idea fundamental de ofrecer al usuario un visor del mapa con el que pudiese trabajar cómodamente, estudiando y planificando su ruta. Por ello, el elemento principal de la interfaz es el visor del mapa.

Puesto que uno de los requisitos del proyecto es la elaboración de un producto con un alto grado de accesibilidad, la interfaz de la aplicación no debe resultar excesivamente grande para poder visualizarse de forma completa en pantallas con una resolución de como mínimo 1024x758 pixeles.

Debido a que las imágenes de SIGPAC tienen una resolución de 256x256 pixeles, se ha tomado la decisión de utilizar una cuadrícula de 2x2 imágenes y que el visor ocupe una gran cantidad del espacio de la interfaz. La *Ilustración 37* muestra el primer prototipo basado en estas ideas.

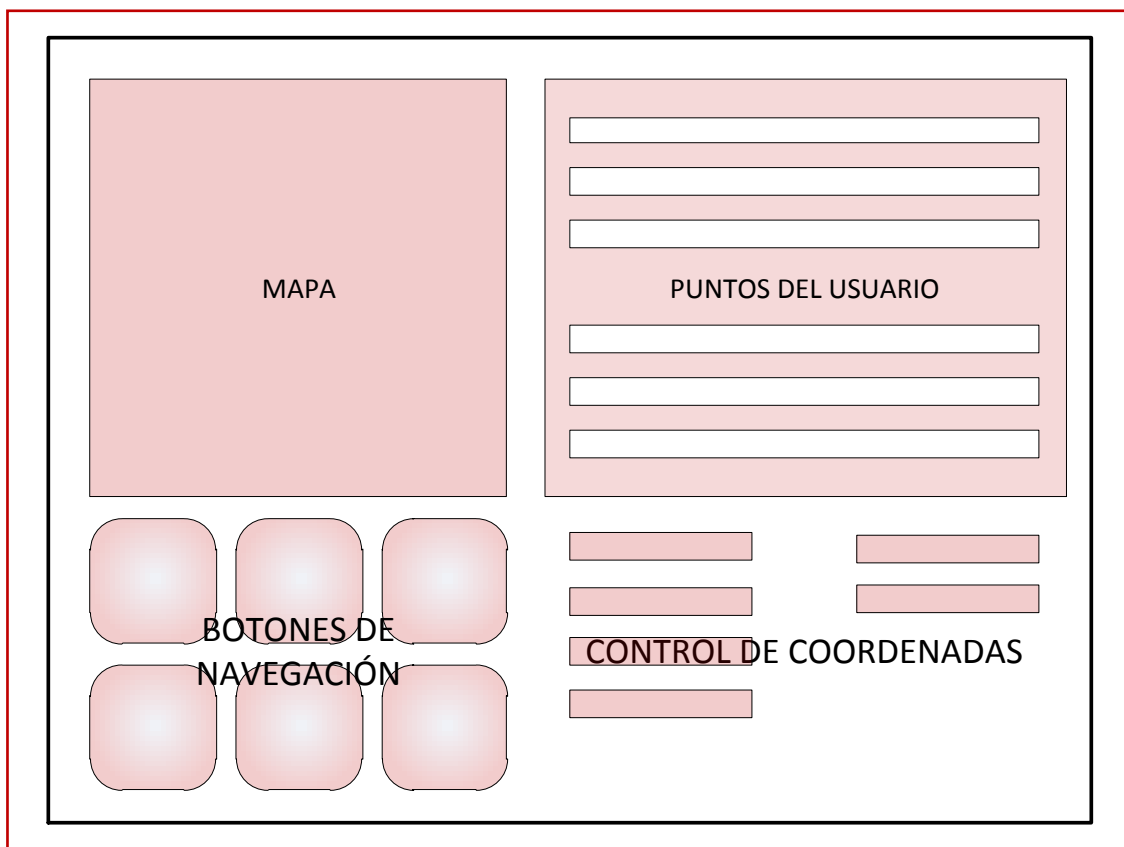


Ilustración 37 - Prototipo de bajo nivel (boceto) de la aplicación PulgarcitoPC

Posteriormente se define la ubicación del resto de controles y el modo de interactuar con el programa. Se definen 4 grandes bloques de controles:

- Visor del mapa. Control ya definido en el prototipo anterior constituyéndose como el elemento principal de toda la interfaz.
- Controles del mapa. Botones que permiten navegar por el mapa, cambiar la escala, etc.
- Control de coordenadas. Control que permite al usuario operar con coordenadas en los diferentes sistemas y *datums* que soporta el programa, realizar translaciones, etc.
- Lista de puntos. Control que muestra información acerca de la ruta creada por el usuario.

Los controles del mapa deberán situarse de forma adyacente al visor, ya que están relacionados. La lista de puntos representa también un aspecto funcional importante de la interfaz y por ello deberá ocupar una parte importante de la interfaz. La *Ilustración 38* muestra la colocación de los controles en el segundo prototipo.



*Ilustración 38 - Prototipo de bajo nivel (esquema) de la aplicación PulgarcitoPC*

Finalmente el prototipo definitivo se muestra en la *Ilustración 39*. Se han especificado los controles y se ha utilizado una tabla para representar la lista de puntos. Se ha añadido el menú en la parte superior izquierda. Se han intercambiado las posiciones del control de coordenadas y de la lista de puntos.

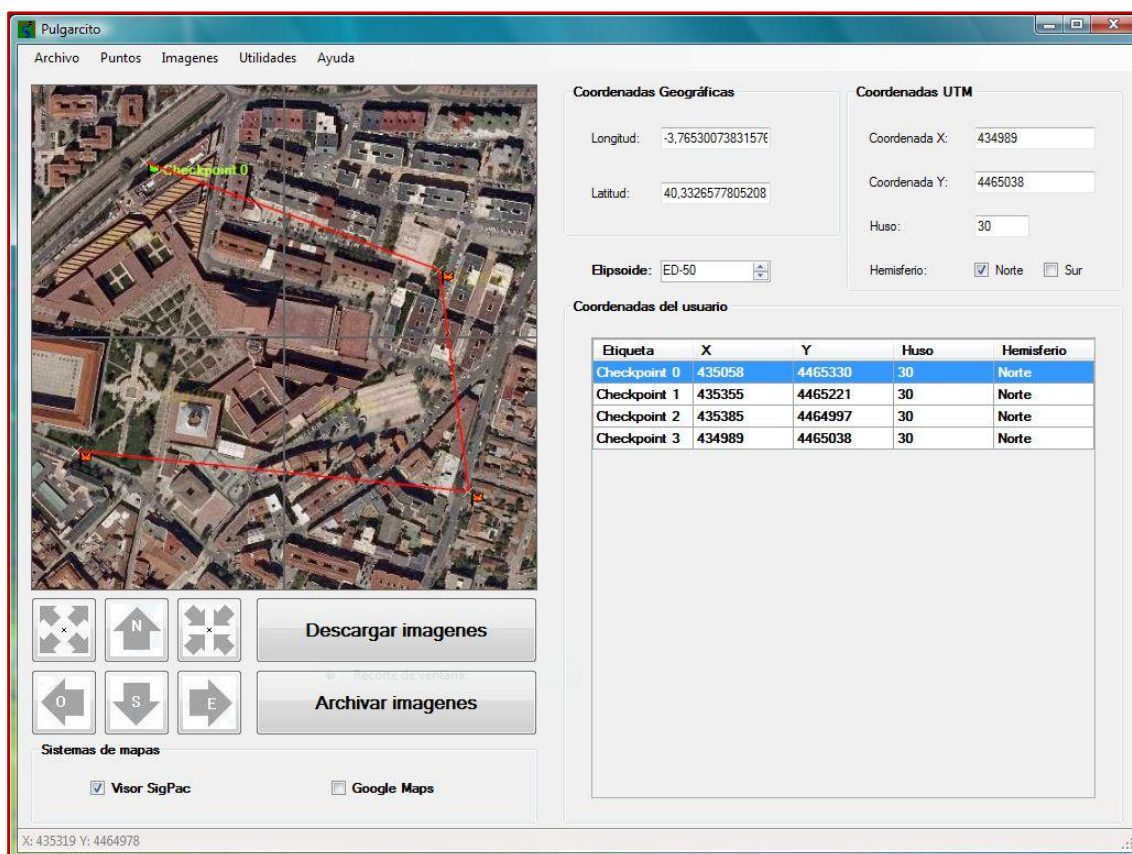
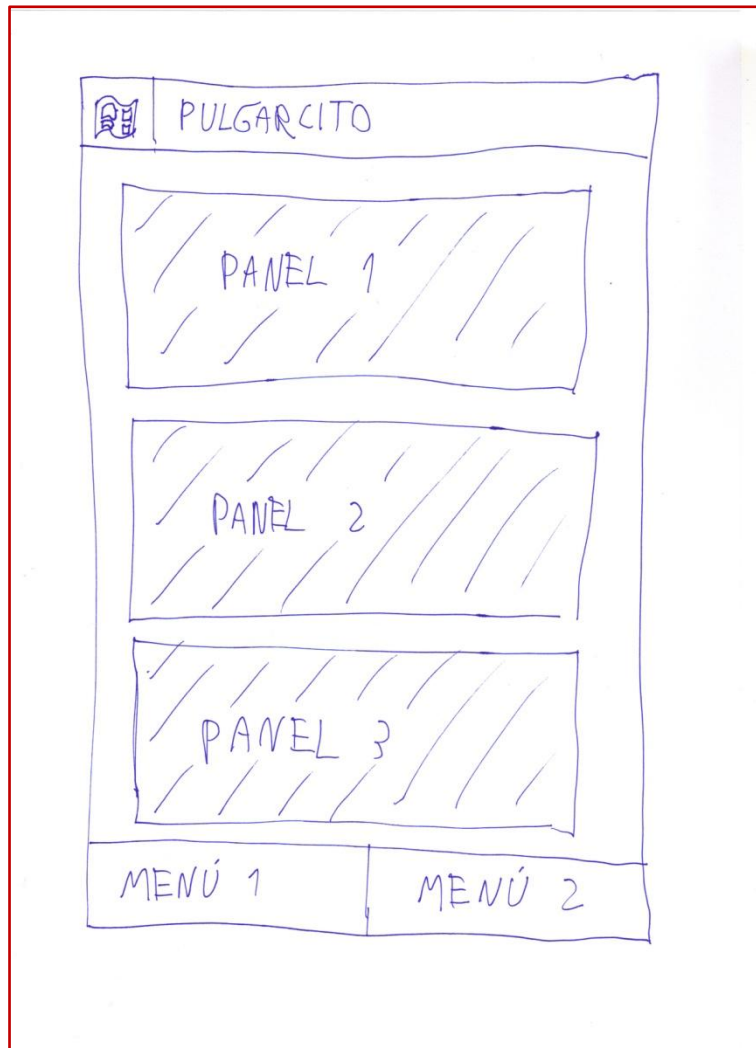


Ilustración 39 - Prototipo de alto nivel de la aplicación PulgarcitoPC

#### 4.3.2. Aplicación para dispositivo móvil

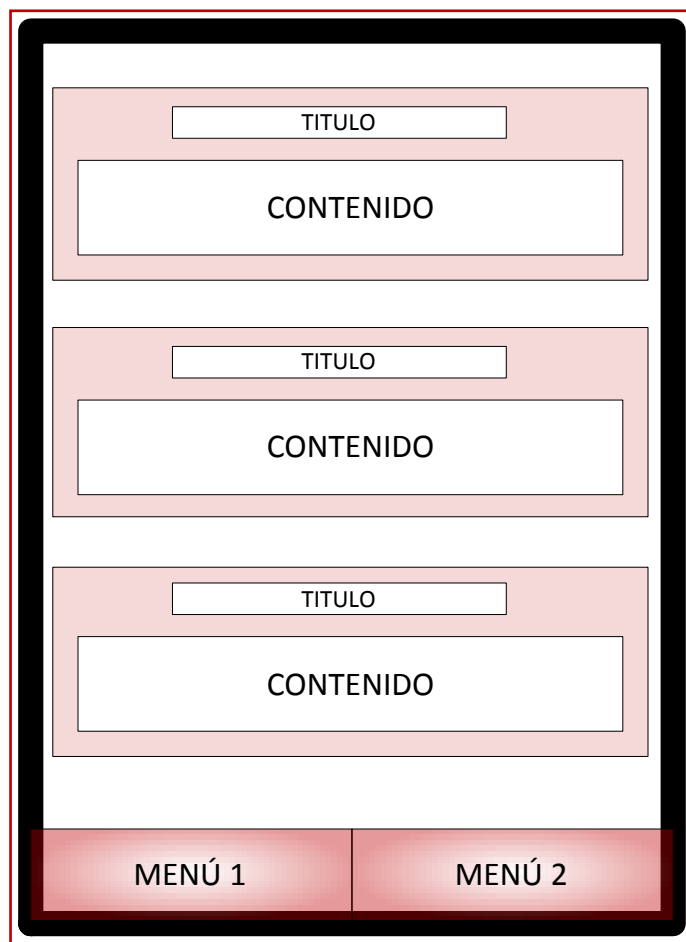
La interfaz de usuario de la aplicación *Pulgarcito* debe diseñarse teniendo en cuenta el reducido tamaño de la pantalla y la ausencia de teclado y ratón en el dispositivo móvil.

Puesto que un mapa de 256x256 píxeles ocupa toda la pantalla del dispositivo, las cuadrículas solo podrán mostrarse de una en una. Además, deberá permitirse al usuario la opción de mostrar la cuadrícula o en su lugar información de tipo textual acerca del estado actual del programa. La *Ilustración 40* muestra el primer prototipo con la información textual descrita.



*Ilustración 40 - Prototipo de bajo nivel (boceto) de la aplicación Pulgarcito*

Puesto que en la pantalla solo se muestran controles de salida de información, toda la interacción del usuario se realizará a través del menú contextual de la aplicación. Se deberá implementar un menú bien organizado y preferiblemente en no más de tres niveles. La información textual se agrupará en tres paneles, cada uno con su título y su contenido. Dicho contenido será variable en función del estado del programa. La *Ilustración 41* muestra la colocación de los paneles en el segundo prototipo.



*Ilustración 41 - Prototipo de bajo nivel (esquema) de la aplicación Pulgarcito*

El diagrama de estados mostrado en la *Ilustración 42* resume los modos de operación de la aplicación y las acciones que el usuario tiene que realizar para cambiar de estado.

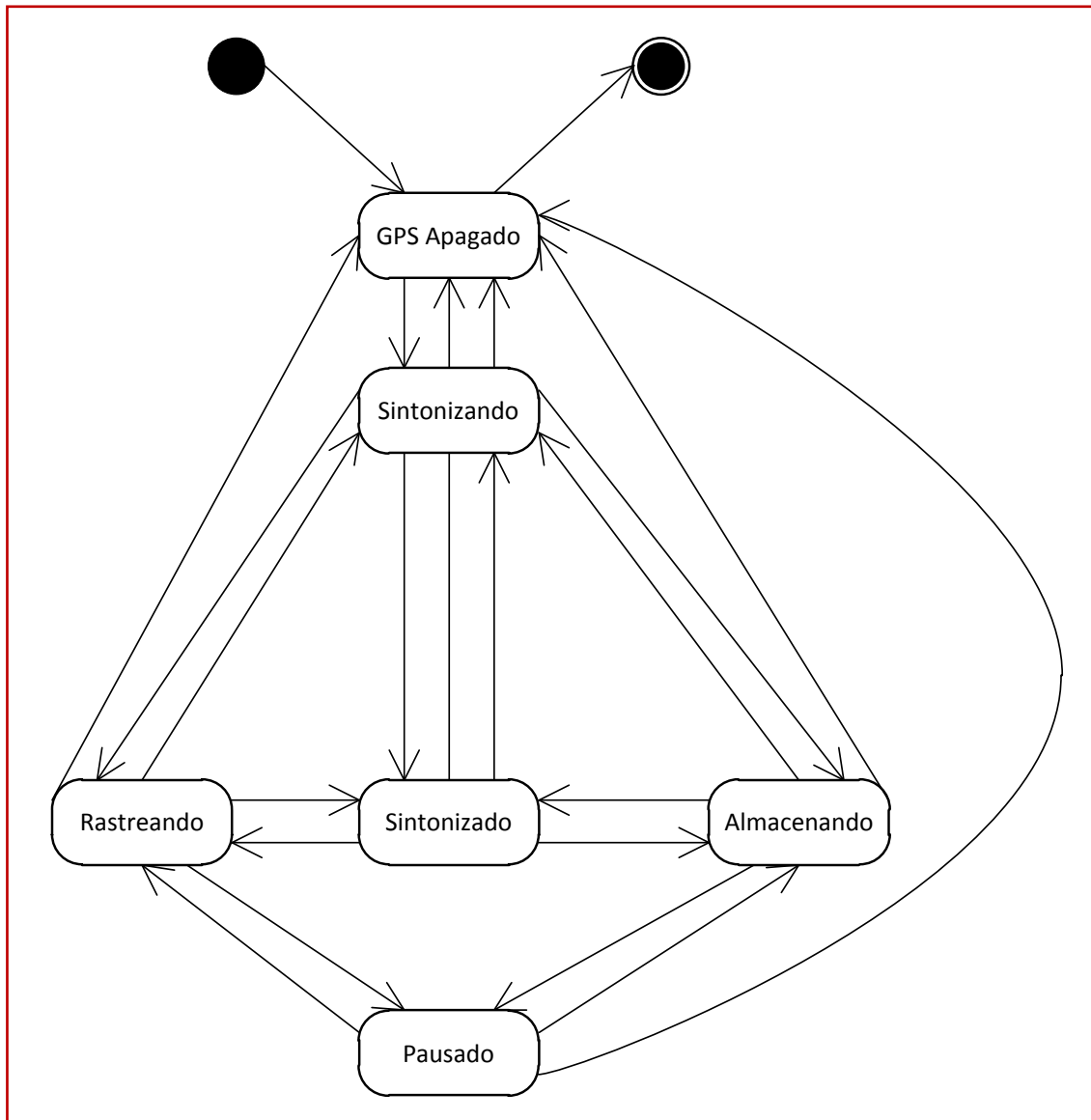


Ilustración 42 - Diagrama de estados de la interfaz de usuario de la aplicación Pulgarcito

Dicho diagrama ejemplifica la forma de trabajar con la aplicación por parte del usuario. En función del estado la aplicación mostrara diferentes contenidos de información textual en los paneles. A continuación enumeramos los estados describiéndolos y comentando la información que proporcionan, las transiciones no se han etiquetado en el diagrama pero se describen también a continuación en la viñeta correspondiente a cada estado:

- **GPS apagado.** Estado inicial del programa con el *hardware* GPS apagado. No se muestra ninguna información en ninguno de los tres paneles. Se puede transitar a este estado desde todos los demás, ya que en cualquier momento el usuario puede decidir apagar el *hardware* GPS.
- **Sintonizando.** Estado transitorio durante el cual el *hardware* está sintonizando la señal de los satélites GPS. Tampoco se muestra ninguna información en



ninguno de los tres paneles. A este estado transitan los estados *Almacenando*, *Sintonizado* y *Rastreando* cuando el GPS pierde la señal, y cualquier estado cuando el usuario decide reiniciar la aplicación.

- **Sintonizado.** El *hardware* GPS ha sintonizado la señal y aguarda instrucciones del usuario para realizar alguna funcionalidad. En los paneles de información se muestra los siguientes datos:
  - Longitud actual.
  - Latitud actual
  - Altitud actual.

A este estado se transita desde el estado *Sintonizando*, si el GPS no tenía señal y la ha encontrado, o desde los estados *Almacenando* y *Rastreando*, si la aplicación estaba realizando estas actividades y el usuario las finaliza.

- **Almacenando.** Mientras la aplicación se encuentre en este estado se van agregando periódicamente posiciones GPS a la ruta actual de la aplicación. En los paneles de información se muestran los siguientes datos:
  - Número de puntos de la ruta actual.
  - Distancia entre la posición actual y el último punto agregado.
  - Coordenadas de la posición actual.

A este estado se transita desde el estado *Sintonizado* si el usuario decide iniciar esta actividad, desde el estado *Sintonizando* si durante el desarrollo de la actividad el GPS había perdido la señal y posteriormente la recupera, o desde el estado *Pausa* si el usuario había pausado la actividad y desea continuarla.

- **Rastreando.** Mientras la aplicación se encuentre en este estado se va eliminando periódicamente el último punto de la ruta actual si la posición actual está suficientemente cerca de dicho punto. En los paneles de información se muestran los siguientes datos:
  - Coordenadas del último punto de la ruta.
  - Distancia entre la posición actual y el último punto de la ruta (a eliminar) y número de puntos que le restan a la ruta actual.
  - Dirección aproximada hacia el último punto de la ruta.

De igual forma que con el estado anterior, a este estado se transita desde el estado *Sintonizado* si el usuario decide iniciar esta actividad, desde el estado *Sintonizando* si durante el desarrollo de la actividad el GPS había perdido la señal y posteriormente la recupera, o desde el estado *Pausa* si el usuario había pausado la actividad y desea continuarla.

- **Pausado.** Estado de pausa durante el cual ni se almacenan ni se eliminan puntos, hasta que el usuario decida reanudar el funcionamiento. En los paneles de información no se muestra ninguna información.

Finalmente el prototipo definitivo se muestra en *Ilustración 43*, en el modo de GPS sintonizado. Los títulos se han colocado en negrita, y se ha añadido un campo adicional que indica el estado del programa. El mapa actual permanecerá oculto hasta que el usuario decida mostrarlo ocultando toda la información textual.



*Ilustración 43 - Prototipo de alto nivel de la aplicación Pulgarcito*

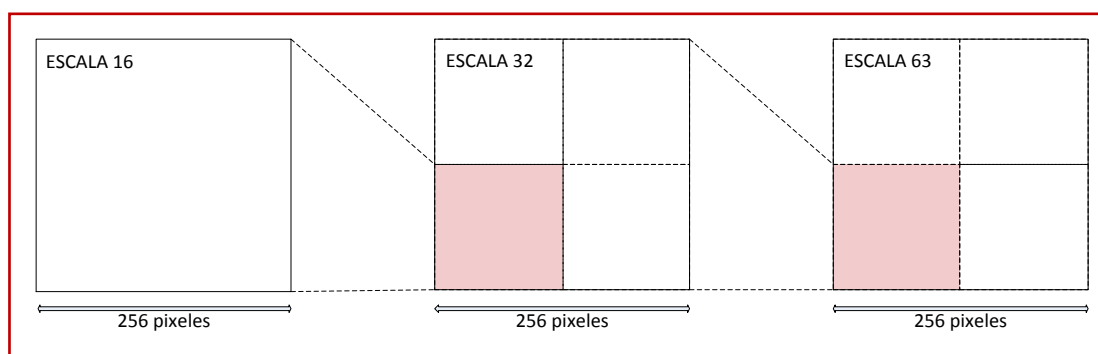
#### 4.4. Formato de la URL de SIGPAC

Las URL a partir de las cuales se obtienen las imágenes por satélite del servidor SIGPAC se construyen a partir del tipo de imagen solicitada, su escala y sus coordenadas UTM en el elipsoide ED-50. No obstante, a pesar de que en la URL se incluyen los parámetros  $i$ ,  $j$  y  $h$ , correspondientes a la X, Y y al huso UTM, estos no se pueden especificar de forma literal y requieren de un tratamiento previo en relación con la escala de la imagen, que se especifica también en la URL mediante el parámetro  $r$ .

SIGPAC dispone de imágenes a múltiples escalas. La escala más reducida se obtiene a través del parámetro  $r=4$ , mientras que la escala más amplia se obtiene con un valor de  $r=8000$ . Entre ambos valores hay hasta 10 valores intermedios:  $r=8$ ,  $r=16$ ,  $r=32$ ,  $r=63$ ,  $r=125$ ,  $r=250$ ,  $r=500$ ,  $r=1000$ ,  $r=2000$  y  $r=4000$ . Como se puede observar, siguen una progresión geométrica, siendo cada escala aproximadamente el doble de la anterior.

No hay que olvidar que esta información se ha obtenido mediante ingeniería inversa analizando un conjunto ilustrativo de URL de SIGPAC, y por ello no se asegura la no existencia de otros valores de escala.

Puesto que se tienen 12 niveles de escala, cada una del doble que la anterior, cada imagen de un nivel de 256x256 píxeles representa un área equivalente a 4 imágenes del nivel inmediatamente inferior, y representa una cuarta parte de una imagen con el nivel de escala inmediatamente superior, tal y como se muestra en la *Ilustración 44*.



*Ilustración 44 – Progresión de niveles de escala en SIGPAC*

Para la obtención de una imagen correspondiente a las coordenadas que deseamos, los valores de X e Y deben dividirse entre dos un número de veces igual al número de nivel de escala que con el que se está solicitando la imagen. Para  $r=4$  (el primer nivel) no se realizaría ninguna división, para  $r=8$ , se realizaría una división, etc. No hay que confundir este valor con el propio valor de la escala (4, 8, etc.). Correspondientemente, si queremos solicitar una imagen de la mayor escala disponible ( $r=8000$ ) dividiríamos las coordenadas X e Y 11 veces. Por último solo resta asignar los valores calculados a los parámetros  $i$  y  $j$  y componer la URL. La *Tabla 99* muestra imágenes con diferente escala para las mismas coordenadas, ilustrando el proceso descrito.

URL de SIGPAC para las coordenadas UTM X=435000 Y=4465000 huso=30 Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior			
Escala	Parámetro $i$	Parámetro $j$	URL final (solo <i>query string</i> )
4	435000	4465000	n=ortofotos;z=30;r=4;i=435000;j=4465000.jpg
8	217500	2232500	n=ortofotos;z=30;r=8;i=217500;j=2232500.jpg
16	108750	1116250	n=ortofotos;z=30;r=16;i=108750;j=1116250.jpg
32	54375	558125	n=ortofotos;z=30;r=32;i=54375;j=558125.jpg
63	27187	279062	n=ortofotos;z=30;r=63;i=27187;j=279062.jpg

*Tabla 99 - URL de imágenes de diferente escala para un mismo punto*

#### 4.5. Formato de ficheros XML

Existen dos unidades de información a transmitir entre las dos aplicaciones mediante los ficheros XML: un punto y una imagen.

El punto representa una posición perteneciente a una ruta. Una ruta está formada por N puntos. Los campos utilizados para representar un punto son los siguientes:

- Coordenadas X, Y, huso UTM y hemisferio en el *datum* ED-50.
- Coordenadas geográficas en el *datum* WGS84.
- Píxeles X e Y. Factor decimal auxiliar que indica la situación del punto en una cuadrícula de 256x256 píxeles correspondiente a un mapa del SIGPAC.
- Nombre del punto.

Una imagen representa una cuadrícula de mapa con un tamaño de 256x256 píxeles descargada del servidor SIGPAC en formato JPG, con unas coordenadas asociadas su localización. Para representar una imagen se utilizan los siguientes campos:

- Nombre de la imagen, generalmente correspondiente con la URL de la que ha sido descargada aunque esto no es obligatorio.
- Bits de la imagen en formato JPEG codificados en *Base64*.
- Índices X, Y de la URL de la que ha sido descargada la imagen.
- Huso de la URL de la que ha sido descargada la imagen.
- Escala de la imagen.
- Coordenadas geográficas de los límites de la imagen en *datum* WGS84 (longitudes occidental y oriental, y latitudes septentrional y meridional).

Un fichero XML contendrá una lista de puntos que representarán una ruta y una lista de imágenes que conformarán un mapa. Puesto que cada cuadrícula se procesa de forma individual, no existe dependencia entre una cuadrícula y sus adyacentes. Por tanto, es posible que un fichero contenga ciertas cuadrículas correspondientes a una superficie de terreno y otras no.

Del mismo modo, es posible que un fichero XML contenga puntos pero no imágenes y viceversa. El uso típico de las aplicaciones suele conllevar la transferencia de imágenes y puntos desde la aplicación para PC (*PulgarcitoPC*) a la aplicación para dispositivo móvil (*Pulgarcito*) y la transferencia de puntos únicamente desde la aplicación para dispositivo móvil a la aplicación para PC. No obstante, ambos elementos pueden estar o no presentes en el fichero.

A continuación se muestra el DTD que define los ficheros XML utilizados por las aplicaciones:

```

<!DOCTYPE datospuntosimagenes [
<!ELEMENT datospuntosimagenes (puntos, imagenes)>
<!ELEMENT puntos (punto+)>
<!ELEMENT punto (X, Y, pixelX, pixelY, huso, hemisferio, longitud, latitud, nombre)>
<!ELEMENT X (#PCDATA)>
<!ELEMENT Y (#PCDATA)>
<!ELEMENT pixelX (#PCDATA)>
<!ELEMENT pixelY (#PCDATA)>
<!ELEMENT huso (#PCDATA)>
<!ELEMENT hemisferio (#PCDATA)>
<!ELEMENT longitud (#PCDATA)>
<!ELEMENT latitud (#PCDATA)>
<!ELEMENT nombre (#PCDATA)>
<!ELEMENT imagenes (imagen+)>
<!ELEMENT imagen (nombre, bits, indX, indY, huso, escala, coordSup, coordInf, coordIzq, coordDer)>
<!ELEMENT nombre (#PCDATA)>
<!ELEMENT bits (#PCDATA)>
<!ELEMENT indX (#PCDATA)>
<!ELEMENT indY (#PCDATA)>
<!ELEMENT huso (#PCDATA)>
<!ELEMENT escala (#PCDATA)>
<!ELEMENT coordSup (#PCDATA)>
<!ELEMENT coordInf (#PCDATA)>
<!ELEMENT coordIzq (#PCDATA)>
<!ELEMENT coordDer (#PCDATA)>
]>

```

☒ Excellent  
☐ Very good  
☐ Good  
☐ Average  
☐ Poor

**PRUEBAS**

## 5. PRUEBAS

Una vez finalizado el diseño, la siguiente fase del proyecto tratada en este documento es la evaluación del sistema. Se ha omitido de este documento la documentación de la etapa de construcción e implementación del sistema, por razones de espacio y tiempo y por considerar que no va a aportar la suficiente información de utilidad como para compensar el esfuerzo invertido en incluirla.

El objetivo de la etapa de evaluación es verificar y validar el *software* construido. Por verificar se entiende comprobar que el producto ha sido construido correctamente y que no tiene fallos. Por validar se entiende comprobar que el producto ha sido construido acorde con los requisitos *software*, que los cumple y que no hay requisitos no cubiertos. Por tanto se trata de realizar una evaluación con dos planteamientos diferentes. En último término, se desea mejorar la calidad general del producto *software*.

Se va a especificar en primer lugar un plan de pruebas que describirá los diferentes grupos de pruebas que se van a realizar a las dos aplicaciones desarrolladas, así como los objetivos específicos de cada grupo de pruebas y el número de pruebas a realizar.

En segundo lugar se describirá el entorno utilizado para realizar las pruebas. se deberá especificar en que equipos se van a realizar las pruebas y cuales son sus capacidades. Se deberá describir también cual va a ser la conectividad del entorno, y decidir si se trata o no de un entorno aislado.

En tercer lugar se especificarán en formato de tabla las pruebas realizadas, incluyendo las correspondientes condiciones de aceptación de cada prueba y el resultado de dicha prueba. Además, se realizará una valoración general de toda la etapa de evaluación y de su resultado.

### 5.1. Especificación del plan de pruebas

Se va a especificar un plan de pruebas con los objetivos antes comentados de verificar y validar el sistema. Ello implica dos filosofías distintas a la hora de diseñar y realizar las pruebas. Verificar el sistema implica encontrar los fallos que este pueda tener, y por tanto se ha de ser minucioso y preciso al realizar las operaciones. Validar el sistema implica comprobar que todos los requisitos han sido implementados, y por ello se debe cubrir el mayor espectro posible y realizar pruebas más generales.

Puesto que se ha omitido de este documento el contenido referente a la etapa de implementación y construcción del sistema, tampoco se van a incluir las pruebas referentes a dicha etapa. Esto excluye cualquier tipo de prueba unitaria, pruebas de integración o pruebas de caja blanca o caja negra.

En su lugar, el plan de pruebas se va a centrar en las pruebas finales del producto. Se van a realizar pruebas de aceptación que permitan validar las aplicaciones desarrolladas, y pruebas complementarias de carga y prestaciones que permitan descubrir fallos en las aplicaciones cuando se producen situaciones extremas o atípicas.

La *Tabla 100* muestra el plan de pruebas del proyecto, diseñado en base a los objetivos comentados anteriormente. No se ha especificado ninguna cantidad de pruebas realizadas asociadas a la etapa de construcción ya que este tipo de pruebas se han realizado en paralelo a la codificación de las aplicaciones, y por ello no se han documentado ni incluido en este documento (aunque si se han realizado). Se han desarrollado cuatro grupos de pruebas, lo cual suma un total de 17 pruebas: 10 de validación y 7 de verificación.

Plan de pruebas			
Tipo de pruebas	Fase	Objetivo	Nº
Pruebas unitarias (caja negra)	Construcción	Verificar que todos los métodos y operaciones funcionan correctamente. Al ser de caja negra no es necesario probar cada uno de los posibles caminos de cada método, sino únicamente las posibles entradas.	-
Pruebas unitarias (caja blanca)	Construcción	Verificar que todos los métodos y operaciones funcionan correctamente. Al ser de caja blanca, se va a probar que no hay caminos inaccesibles en código de los métodos.	-
Pruebas de comunicación	Construcción	Verificar que todos los módulos se comunican entre sí de forma correcta y asegurar que no existe ningún módulo aislado (bibliotecas, entidades externas, etc.)	-
Pruebas de visibilidad	Construcción	Verificar que todos los módulos de la interfaz gráfica se ven correctamente de acuerdo con los requisitos.	-
Pruebas generales	Construcción	Verificar que todos los módulos, tanto controladores como interfaz como acceso a datos y recursos, funcionan correctamente entre sí.	-
Prueba del entorno final	Implantación	Verificar y hacer funcionar correctamente las aplicaciones en el entorno de producción final, donde el sistema va a funcionar definitivamente. En este caso el entorno de pruebas se diseñará como aproximación al entorno final de producción.	4
Pruebas de aceptación	Implantación	Validar el funcionamiento de todo el sistema junto con el cliente y los usuarios finales, para poder aceptar el sistema y ver que todos los requisitos se cumplen.	10



Pruebas de carga	Implantación	Verificar el funcionamiento del sistema en condiciones de máxima exigencia y con una gran carga de trabajo comprobando que las aplicaciones son robustas incluso en dichas condiciones.	2
Pruebas de rendimiento	Implantación	Verificar que el funcionamiento del sistema se realiza bajo unos parámetros de rendimiento óptimos y que no existen retardos, desaprovechamiento de recursos o consumo excesivo de energía por parte de las aplicaciones.	1

Tabla 100 - Plan de pruebas

## 5.2. Especificación del entorno de pruebas

Para la elaboración del entorno de pruebas se ha buscado la mayor similitud posible con el entorno real de producción en el que van a trabajar ambas aplicaciones. No obstante, se trata de un producto destinado al público general, y las metas del proyecto enuncian claramente que el producto debe ser distribuible y accesible. Estos factores conllevan por tanto un entorno de producción muy variado, ya que cada usuario potencial de la aplicación (toda la población) tendrá sus propios equipos, unos más potentes, otros menos, unos más actualizados, otros menos, etc.

Para atenuar este problema se ha optado por probar ambas aplicaciones en dos entornos opuestos. Un entorno de altas prestaciones, con equipamiento *hardware* de última generación, ordenador potente y actualizado, dispositivo móvil de reciente puesta en el mercado, etc. y otro entorno de prestaciones más reducidas, con un equipamiento de características más limitadas y más anticuado.

A continuación se definen dichos entornos para cada una de las dos aplicaciones desarrolladas.

### 5.2.1. Aplicación para PC

El entorno de ejecución más probable de la aplicación *PulgarcitoPC* consiste en el puesto informático del usuario (un PC en su hogar o en su puesto de trabajo), con una conexión a internet que permita tráfico HTTP con el servidor SIGPAC.

El equipo de altas prestaciones utilizado ha sido un ordenador *Alienware Aurora* [45] de la marca *Dell Inc.* que se muestra en la *Ilustración 45* con las siguientes características:

- Procesador *Intel Core i7 920* (2,66 GHz; caché de 8 MB; 4,8 GT/s).
- 12 GB de memoria RAM (DDR3 a 1.333 MHz).
- Tarjeta gráfica *SLI Dual nVidia GeForce GTS 240* a 1 GB.
- Disco duro de 700 GB a 7200 rpm.
- 2 pantallas de 21" a 1920x1080 píxeles.

- Tarjeta de red *Broadcom Netlink Gigabit Ethernet*
- Conexión DSL a internet con ancho de banda de 6 MB.
- Sistema Operativo *Microsoft Windows 7 Home Premium*.
- *Microsoft .NET Framework v3.5 SP1*



*Ilustración 45 - Alienware Aurora*

El equipo de menores prestaciones utilizado ha sido un ordenador clónico con las siguientes características:

- Procesador *Intel Core 2 Duo E7200* (2,53 GHz).
- 2 GB de memoria RAM (DDR2 a 533 MHz).
- Tarjeta gráfica *nVidia GeForce 8600 GT* a 256 GB.
- Disco duro de 500 GB a 5400 rpm.
- 2 pantallas de 21" a 1920x1080 pixeles.
- Tarjeta de red *Atheros L1 Gigabit Ethernet*
- Conexión *Gigabit Ethernet* a internet con ancho de banda de 2,5 Gbps.
- Sistema Operativo *Microsoft Windows XP Professional SP3*.
- *Microsoft .NET Framework v3.5 SP1*
- *Microsoft .NET Framework v3.0 SP2*
- *Microsoft .NET Framework v2.0 SP2*

### 5.2.2. Aplicación para dispositivo móvil

El entorno de ejecución mas probable de la aplicación *Pulgarcito* consiste en un telefono móvil de última generación con *hardware* GPS integrado (típicamente el telefono del usuario). Aunque este tipo de dispositivos suele disponer de capacidad de conexión a internet mediante *WiFi*, 3G o GPRS, se considerará su uso en entornos aislados y por ello no se contará con esta característica.

El dispositivo de altas prestaciones utilizado ha sido un telefono móvil *Touch Diamond* [46] del fabricante HTC, que se muestra en la *Ilustración 46* con las siguientes características:

- Procesador *Qualcomm MSM7201A* a 528 MHz.
- Memoria ROM 256 MB, RAM 192 MB DDR SDRAM.
- Almacenamiento interno de 4 GB.
- Pantalla táctil TFT-LCD de 2,8'.
- GPS / A-GPS
- Batería de 900 mAh.
- Sistema operativo *Microsoft Windows Mobile 6.1 Professional*



*Ilustración 46 - HTC Touch Diamond*

El dispositivo GPS de prestaciones más reducidas utilizado ha sido un teléfono móvil P3300 [47] del fabricante HTC, que se muestra en la *Ilustración 47* y tiene las siguientes características:

- Procesador TI's OMAP 850 a 201 MHz.
- Memoria ROM 128 MB, RAM 64 MB DDR SDRAM.
- Pantalla táctil TFT-LCD de 2,8".
- GPS
- Batería de 1250 mAh.
- Sistema operativo *Microsoft Windows Mobile 6 Professional*



*Ilustración 47 - HTC P3300*

### 5.3. Plan de pruebas

A continuación se van a enumerar las pruebas realizadas. En primer lugar se han realizado las pruebas de entorno, para posteriormente realizar las pruebas de aceptación, carga y rendimiento.

Las pruebas se describen mediante tablas. Para cada prueba se van a describir los siguientes campos:

1. **Código:** Código unívoco para cada prueba.

2. **Sistema:** Prueba de la aplicación para PC o de la aplicación para dispositivo móvil.
3. **Categoría:** Prueba de entorno, aceptación, rendimiento o carga.
4. **Entorno:** Equipo de los descritos en el apartado anterior en el que se ha realizado la prueba
5. **Caso de uso:** Caso de uso con de los descritos en el apartado 3.2. *Estudio de casos de uso* con el que coincide la prueba (si coincide con alguno).
6. **Objetivo:** Objetivo de la prueba. Aspecto de la aplicación que se pretende verificar o validar.
7. **Entradas:** Datos de entrada o precondiciones de la prueba.
8. **Procedimiento:** Secuencia de instrucciones para realizar la prueba.
9. **Salidas:** Resultados o postcondiciones de la prueba.
10. **Criterios de aceptación:** Condiciones que se tienen que cumplir para que la prueba se considere superada.
11. **Análisis y evaluación:** Resultados de la prueba.

5.3.1.Pruebas de entorno final

PE-PC001			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Entorno final
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	-
Objetivo			
Verificar que la aplicación se instala en el entorno de pruebas correctamente y sin errores.			
Entradas			
Archivo instalador de la aplicación <i>PulgarcitoPC</i> .			
Procedimiento			
1-Inicializar el entorno de pruebas.		2-Copiar el archivo instalador al sistema de archivos del equipo del entorno.	
3-Ejecutar el archivo instalador.		4-Proceder con la instalación.	
5-Finalizada la instalación, ejecutar la aplicación para constatar que la aplicación se ha instalado sin errores.			
Salidas			
Entorno de pruebas con la aplicación instalada.			
Criterios de aceptación			
La instalación se completa correctamente y no se producen errores. La ejecución de la aplicación se completa correctamente mostrando al usuario la ventana principal.			
Análisis y evaluación			
La instalación se ha desarrollado correctamente y la aplicación se ha ejecutado con éxito. <b>Prueba aprobada.</b>			

Tabla 101 - Prueba de entorno final PE-PC001

PE-PC002			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Entorno final
Entorno	Alienware Aurora	Caso de uso	-
Objetivo			
Verificar que la aplicación se instala en el entorno de pruebas correctamente y sin errores.			
Entradas			
Archivo instalador de la aplicación <i>PulgarcitoPC</i> .			
Procedimiento			
1-Inicializar el entorno de pruebas.		2-Copiar el archivo instalador al sistema de archivos del equipo del entorno.	
3-Ejecutar el archivo instalador.		4-Proceder con la instalación.	
5-Finalizada la instalación, ejecutar la aplicación para constatar que la aplicación se ha instalado sin errores.			
Salidas			
Entorno de pruebas con la aplicación instalada.			
Criterios de aceptación			
La instalación se completa correctamente y no se producen errores. La ejecución de la aplicación se completa correctamente mostrando al usuario la ventana principal.			
Análisis y evaluación			
La instalación se ha desarrollado correctamente y la aplicación se ha ejecutado con éxito. La instalación se ha completado en menos tiempo que en la prueba <i>PE-PC001</i> , aunque no se ha cuantificado dicha diferencia. El aspecto visual de la aplicación ejecutada es diferente al de la prueba <i>PE-PC001</i> , debido a la diferencia de sistemas operativos. <b>Prueba aprobada.</b>			

Tabla 102 - Prueba de entorno final PE-PC002

## PRUEBAS

PE-MV001			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Entorno final
Entorno	P3300	Caso de uso	-
Objetivo			
Verificar que la aplicación se instala en el entorno de pruebas correctamente y sin errores y que el dispositivo GPS funciona correctamente.			
Entradas			
Archivo instalador de la aplicación <i>Pulgarcito</i> .			
Procedimiento			
1-Inicializar el entorno de pruebas.		2-Copiar el archivo instalador al sistema de archivos del equipo del entorno.	
3-Ejecutar el archivo instalador.		4-Proceder con la instalación.	
5-Finalizada la instalación, ejecutar la aplicación para constatar que la aplicación se ha instalado sin errores.		6-Encender el GPS.	
7-Aguardar a que el dispositivo GPS sintonice la señal y muestre la localización actual.			
Salidas			
Entorno de pruebas con la aplicación instalada y el dispositivo GPS funcionando correctamente.			
Criterios de aceptación			
La instalación se completa correctamente y no se producen errores. La ejecución de la aplicación se completa correctamente mostrando al usuario la ventana principal. Tras un intervalo de tiempo y en un entorno con cobertura GPS, la aplicación mostrará al usuario la posición actual.			
Análisis y evaluación			
La instalación se ha desarrollado correctamente y la aplicación se ha ejecutado con éxito. El dispositivo GPS ha tardado un tiempo no cuantificado en sintonizar la señal GPS permitiendo a la aplicación mostrar la posición actual. Probablemente fuese debido a no contar con unas efemérides actualizadas. <b>Prueba aprobada.</b>			

*Tabla 103 - Prueba de entorno final PE-MV001*



PE-MV002			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Entorno final
Entorno	Touch Diamond	Caso de uso	-
Objetivo			
Verificar que la aplicación se instala en el entorno de pruebas correctamente y sin errores y que el dispositivo GPS funciona correctamente.			
Entradas			
Archivo instalador de la aplicación <i>Pulgarcito</i> .			
Procedimiento			
1-Inicializar el entorno de pruebas.		2-Copiar el archivo instalador al sistema de archivos del equipo del entorno.	
3-Ejecutar el archivo instalador.		4-Proceder con la instalación.	
5-Finalizada la instalación, ejecutar la aplicación para constatar que la aplicación se ha instalado sin errores.		6-Encender el GPS.	
7-Aguardar a que el dispositivo GPS sintonice la señal y muestre la localización actual.			
Salidas			
Entorno de pruebas con la aplicación instalada y el dispositivo GPS funcionando correctamente.			
Criterios de aceptación			
La instalación se completa correctamente y no se producen errores. La ejecución de la aplicación se completa correctamente mostrando al usuario la ventana principal. Tras un intervalo de tiempo y en un entorno con cobertura GPS, la aplicación mostrará al usuario la posición actual.			
Análisis y evaluación			
La instalación se ha desarrollado correctamente y la aplicación se ha ejecutado con éxito. El dispositivo GPS ha tardado un tiempo no cuantificado en sintonizar la señal GPS permitiendo a la aplicación mostrar la posición actual. Probablemente fuese debido a no contar con unas efemérides actualizadas. <b>Prueba aprobada.</b>			

Tabla 104 - Prueba de entorno final PE-MV002

### 5.3.2.Pruebas de aceptación

PA-PC001			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Aceptación
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	CU-PC004
Objetivo			
Validar la funcionalidad de insertar puntos en una ruta pulsando sobre el mapa y los requisitos relacionados RF-PC001, RF-PC006, RF-PC007, RF-PC008, RI-PC001, RI-PC002, RI-PC005, RI-PC006, RI-PC008, RO-PC003			
Entradas			
Coordenadas que el usuario desea incluir en la ruta actual.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-PC004.			
1-El usuario visualizará sobre el mapa de la ventana un punto que quiere incluir en su ruta.		2-Situara el cursor del ratón sobre dicho punto.	
3-Realizará doble <i>click</i> sobre él.		4-El punto se insertará en la lista de puntos con un nombre predefinido.	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
El punto ha sido insertado en la ruta actual, se muestra en la lista de puntos del usuario y en el mapa figura el marcador asociado. En el panel de coordenadas figuran las coordenadas de dicho punto en ambos sistemas.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 105 - Prueba de aceptación PA-PC001

## PRUEBAS

PA-PC002			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Aceptación
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	CU-PC005
Objetivo			
Validar la funcionalidad de crear una ruta completa con múltiples puntos y el requisito relacionado RF-PC011.			
Entradas			
Múltiples coordenadas que el usuario desea incluir en la ruta actual.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-PC005.			
1-El usuario insertará N puntos (CU-PC004)		2-Decidirá si los puntos son adecuados.	
3-Seleccionará en la lista de puntos aquellos que desee borrar.		4-Los borrará pulsando la tecla <i>Supr.</i>	
5-Decidirá si quiere cambiar algún nombre de los puntos insertados restantes.		6-Seleccconará el punto al que va a cambiar de nombre.	
7-Introducirá el nuevo nombre.		8-Aceptará	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Los puntos han sido insertados en la ruta actual, se muestran en la lista de puntos del usuario y en el mapa figura los marcadores asociados unidos.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

*Tabla 106 - Prueba de aceptación PA-PC002*

PA-PC003			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Aceptación
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	CU-PC006
Objetivo			
Validar la funcionalidad de visualizar un mapa seleccionado a partir de unas coordenadas introducidas por el usuario y los requisitos asociados RF-PC004, RF-PC005 y RI-PC007.			
Entradas			
Coordenadas del mapa que el usuario desea visualizar en la cuadrícula.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-PC006.			
1-El usuario conoce unas coordenadas que desea visualizar en el mapa de la aplicación.		2-Introduce dichas coordenadas en la aplicación.	
3-Pulsa el botón <i>Descargar Imágenes</i> .		4-La aplicación se conecta al servidor SIGPAC y descarga las imágenes asociadas.	
5-El usuario visualiza el mapa asociado a las coordenadas introducidas.			
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
El mapa correspondiente a las coordenadas seleccionadas ha sido descargado y se visualiza en la cuadrícula de la aplicación.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 107 - Prueba de aceptación PA-PC003

## PRUEBAS

PA-PC004			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Aceptación
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	CU-PC007
Objetivo			
Validar la funcionalidad de guardar imágenes en el fichero sin ninguna ruta asociada.			
Entradas			
Coordenadas del mapa que el usuario desea visualizar en la cuadrícula y almacenarlo.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-PC007.			
1-El usuario desea guardar en el fichero las imágenes visualizadas aunque no tengan asociada ninguna ruta.		2-Pulsa el botón <i>Almacenar Imágenes</i> .	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Las imágenes seleccionadas se han almacenado en la lista de imágenes de la aplicación.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado. <b>Prueba aceptada.</b>			

*Tabla 108 - Prueba de aceptación PA-PC004*

## PRUEBAS

PA-PC005			
Sistema	Aplicación para PC	Categoría	Aceptación
Entorno	Ordenador clónico	Caso de uso	CU-PC008
Objetivo			
Validar la funcionalidad de navegación por el mapa y los requisitos asociados RF-PC002 y RF-PC003.			
Entradas			
Mapa cargado en la cuadrícula de la aplicación.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-PC008.			
1-El usuario desea visualizar las imágenes al norte, al sur, al este o al oeste de las imágenes cargadas en la ventana principal.		2-Pulsa el botón correspondiente según donde se quiera desplazar.	
3-La aplicación se descarga los mapas (CU-PC006)		4-La ventana muestra las imágenes determinadas.	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Imágenes al norte, sur, este u oeste de las imágenes mostrándose en la ventana principal de la aplicación.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

*Tabla 109 - Prueba de aceptación PA-PC005*

PA-MV001			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Aceptación
Entorno	P3300	Caso de uso	CU-MV002
Objetivo			
Validar la funcionalidad de abrir un archivo XML y cargar en la aplicación la ruta y las imágenes que contenga, designando la ruta como ruta actual. Validar los requisitos asociados RF-MV001,RF-MV002, RF-MV003, RF-MV005, RI-MV002.			
Entradas			
Archivo XML generado con la aplicación <i>PulgarcitoPC</i> que contenga una ruta de varios puntos y las imágenes asociadas a dichos puntos.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-MV002.			
1-El usuario irá al menú.		2- Expandirá la opción <i>Archivo</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Abrir</i> .		4-Navegara por el dialogo emergente hasta localizar su archivo.	
5-Lo seleccionara		6- Introducirá un nombre para la ruta a cargar en el dialogo emergente.	
7-Pulsará <i>Aceptar</i> .			
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Ruta cargada en la aplicación y configurada como ruta actual e imágenes cargadas en la aplicación.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 110 - Prueba de aceptación PA-MV001

PA-MV002			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Aceptación
Entorno	P3300	Caso de uso	CU-MV003
Objetivo			
Validar la funcionalidad de guardar una ruta en un fichero XML interpretable por la aplicación <i>PulgarcitoPC</i> y el requisito asociado RF-MV006.			
Entradas			
Ruta creada con uno o más puntos y designada como ruta actual.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-MV003.			
1-El usuario irá al menú.  3-Seleccionará la opción <i>Guardar</i> .  5-Determinara los parámetros del guardado Nombre del archivo Carpeta Extensión Ubicación (memoria <i>flash</i> o tarjeta)		2-Expandirá la opción <i>Archivo</i> .  4-Seleccionará la ruta a guardar de la lista de rutas de la aplicación.  6-Pulsara <i>Guardar</i> .	
Salidas			
Fichero XML que contiene la ruta.			
Criterios de aceptación			
Fichero XML creado en el sistema de archivos del dispositivo móvil que contenga la ruta actual.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 111 - Prueba de aceptación PA-MV002



PA-MV003			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Aceptación
Entorno	P3300	Caso de uso	CU-MV004
Objetivo			
Validar la funcionalidad de almacenar puntos agregándolos a la ruta actual a partir de la posición actual obtenida mediante el <i>hardware</i> GPS, y los requisitos asociados RF-MV007 y RD-MV002.			
Entradas			
Ruta creada (no necesariamente con puntos) y designada como ruta actual.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-MV004.			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Rutas</i> .	
3-Expandirá la opción <i>Ruta Actual</i> .		4-Seleccionará la opción <i>Almacenar Puntos</i> .	
5-Paseará por aquellos lugares por los que desee, y que tengan cobertura GPS.		6-Periodicamente el sistema irá añadiendo a la ruta las posiciones en las que se encuentre.	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Ruta actual con puntos agregados correspondientes a las posiciones por las que ha pasado el usuario.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 112 - Prueba de aceptación PA-MV003

PA-MV004			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Aceptación
Entorno	P3300	Caso de uso	CU-MV005
Objetivo			
Validar la funcionalidad de rastrear puntos eliminándolos de la ruta actual si están próximos a la posición actual, obtenida mediante el <i>hardware</i> GPS, y el requisito asociado RF-MV008.			
Entradas			
Ruta creada con uno o más puntos y designada como ruta actual.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-MV005.			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Rutas</i> .	
3-Expandirá la opción <i>Ruta Actual</i> .		4-Seleccionará la opción <i>Rastrear Puntos</i> .	
5-Paseará por aquellos lugares que le marcan la ruta que está rastreando, y que tengan cobertura GPS.		6-Periodicamente el sistema irá restando de la ruta las posiciones por las que el usuario haya pasado.	
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Ruta actual sin puntos al haber sido eliminados por la aplicación mediante el rastreo de la ruta.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 113 - Prueba de aceptación PA-MV004

PA-MV005			
Sistema	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	Categoría	Aceptación
Entorno	P3300	Caso de uso	CU-MV006
Objetivo			
Validar la funcionalidad de navegación entre las imágenes cargadas en la aplicación y los requisitos asociados RF-MV009, RF-MV010 y RI-MV001.			
Entradas			
Ruta creada con uno o más puntos y designada como ruta actual e imágenes cargadas asociadas a dichos puntos.			
Procedimiento			
El procedimiento es similar al descrito en el caso de uso CU-MV006.			
1-El usuario irá al menú.		2-Expandirá la opción <i>Navegar a</i> .	
3-Seleccionará la opción <i>Posición Destino</i> .			
Salidas			
Ninguna.			
Criterios de aceptación			
Visualización en la pantalla de la imagen correspondiente al último punto de la ruta.			
Análisis y evaluación			
Procedimiento completado y requisitos validados. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 114 - Prueba de aceptación PA-MV005

## 5.3.3.Pruebas de carga

PC-PC001			
<b>Sistema</b>	Aplicación para PC	<b>Categoría</b>	Carga
<b>Entorno</b>	<i>Alienware Aurora</i>	<b>Caso de uso</b>	CU-PC005
<b>Objetivo</b>			
Comprobar la integridad de la aplicación realizando una descarga masiva de imágenes que permita describir fallos y limitaciones en la gestión de recursos de la aplicación desarrollada.			
<b>Entradas</b>			
Múltiples coordenadas que el usuario desea incluir en la ruta actual, separadas entre sí por una distancia suficientemente grande para cumplir con el procedimiento de la prueba.			
<b>Procedimiento</b>			
El procedimiento es similar al del CU-PC005, aunque las coordenadas estarán separadas entre sí una gran distancia provocando una descarga de una gran cantidad de imágenes (8 GB). Además, se deberá salvar la información descargada en un fichero XML para constatar que el proceso finaliza correctamente.			
<b>Salidas</b>			
Fichero XML creado en el sistema de archivos del equipo que contenga la ruta actual y las imágenes descargadas, con un tamaño mínimo de 8 GB.			
<b>Criterios de aceptación</b>			
El proceso finaliza correctamente (no importa el tiempo que tarde en finalizar).			
<b>Análisis y evaluación</b>			
Procedimiento completado. Fichero almacenado con un tamaño de 8,2 GB. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 115 - Prueba de carga PC-PC001

PC-MV001			
<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	<b>Categoría</b>	Carga
<b>Entorno</b>	<i>Touch Diamond</i>	<b>Caso de uso</b>	CU-MV002
<b>Objetivo</b>			
Comprobar la integridad de la aplicación realizando una carga masiva de imágenes que permita describir fallos y limitaciones en la gestión de recursos de la aplicación desarrollada.			
<b>Entradas</b>			
Fichero XML creado mediante la aplicación <i>PulgarcitoPC</i> que contenga una ruta y las imágenes asociadas a dicha ruta, con un tamaño mínimo de 100 MB.			
<b>Procedimiento</b>			
El procedimiento es similar al del CU-MV002, aunque el fichero tendra un tamaño mayor la carga de una gran cantidad de imágenes (100 MB).			
<b>Salidas</b>			
Ninguna.			
<b>Criterios de aceptación</b>			
El proceso finaliza correctamente (no importa el tiempo que tarde en finalizar).			
<b>Análisis y evaluación</b>			
Procedimiento completado. Fichero con un tamaño de 112 MB cargado. <b>Prueba aceptada.</b>			

Tabla 116 - Prueba de carga PC-MV001

## 5.3.4. Pruebas de rendimiento

PR-MV001																											
<b>Sistema</b>	Aplicación para dispositivo móvil con GPS	<b>Categoría</b>	Rendimiento																								
<b>Entorno</b>	P3300	<b>Caso de uso</b>	-																								
<b>Objetivo</b>																											
Comprobar cómo el uso de la aplicación y del <i>hardware</i> GPS repercute en el consumo energético del dispositivo móvil mediante una medición del tiempo que tarda la batería del dispositivo en agotarse.																											
<b>Entradas</b>																											
Ninguna.																											
<b>Procedimiento</b>																											
Se van a realizar 3 casos de prueba consistentes en ejecutar la aplicación sobre el dispositivo móvil con la batería cargada al máximo y medir el tiempo que tarda (en minutos) la batería en agotarse. Los casos de prueba se ejecutarán en el dispositivo P3300 y se basarán en las siguientes hipótesis: 1-Aplicación ejecutándose con el GPS apagado. 2-Aplicación ejecutándose con el GPS encendido. 3-Aplicación ejecutándose con el GPS encendiéndose y apagándose intermitentemente cada 20 segundos.																											
<b>Salidas</b>																											
Toma de tiempos realizada a lo largo de la prueba.																											
<b>Criterios de aceptación</b>																											
La prueba no tiene criterios de aceptación, y solo se realiza con el fin de investigar el consumo energético de la aplicación para promover futuras mejoras que lo reduzcan.																											
<b>Análisis y evaluación</b>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">P3300</th></tr> <tr> <th></th><th>Sin GPS</th><th>Con GPS</th><th>Con GPS Intermitente</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Medición 1</b></td><td>1254</td><td>562</td><td>776</td></tr> <tr> <td><b>Medición 2</b></td><td>1249</td><td>571</td><td>780</td></tr> <tr> <td><b>Medición 3</b></td><td>1246</td><td>565</td><td>778</td></tr> <tr> <td><b>Media</b></td><td>1249,667</td><td>566</td><td>778</td></tr> </tbody> </table> <p>Como puede observarse, el consumo energético por parte de la aplicación aumenta considerablemente si el HW GPS permanece encendido. Aunque no se trata de un consumo prohibitivo, conviene que el usuario pueda decidir si enciende o no el HW GPS. No hay que olvidar que los mapas se pueden visualizar en el dispositivo sin necesidad de que el GPS esté encendido.</p>				P3300					Sin GPS	Con GPS	Con GPS Intermitente	<b>Medición 1</b>	1254	562	776	<b>Medición 2</b>	1249	571	780	<b>Medición 3</b>	1246	565	778	<b>Media</b>	1249,667	566	778
P3300																											
	Sin GPS	Con GPS	Con GPS Intermitente																								
<b>Medición 1</b>	1254	562	776																								
<b>Medición 2</b>	1249	571	780																								
<b>Medición 3</b>	1246	565	778																								
<b>Media</b>	1249,667	566	778																								

Tabla 117 - Prueba de rendimiento PR-MV001





## **PRESUPUESTO**



## 6. PRESUPUESTO

Finalizadas las pruebas realizadas a las aplicaciones desarrolladas, solo resta elaborar un presupuesto completo para finalizar el proyecto.

En dicho presupuesto se desglosarán los costes del proyecto, tanto de personal como de equipo. Así mismo se mostrará un ejemplo de oferta (sin validez y solo con fines ilustrativos) en caso de que se quiera vender el proyecto y todos sus derechos de explotación. Por otra parte, se detallará la planificación del proyecto, comentando las fases de las que se ha compuesto y sus plazos. Puesto que la evolución del *software* resulta relevante para entender plenamente los costes y los plazos del proyecto, se va a describir también el ciclo de vida del *software* utilizado para elaborar las aplicaciones.

### 6.1. Ciclo de vida del proyecto

El presente proyecto comenzó como el resultado del trabajo realizado en una beca de colaboración con el departamento de informática de la Universidad Carlos III de Madrid [57] proporcionada por el Ministerio de Educación y Cultura [58].

En dicha beca no existía un planteamiento inicial de requisitos como el recogido en el presente documento, sino que se desarrollaron múltiples líneas de investigación relacionadas con los dispositivos móviles con GPS.

Fruto de dichas líneas de investigación surgieron multitud de aplicaciones de carácter reducido desarrolladas en base a un conjunto de requisitos específico que ponían énfasis en ciertos aspectos (medición de distancias, almacenamiento de lugares de interés, etc.). Cada una de esas aplicaciones solía ser una evolución de la anterior. Finalmente, las aplicaciones descritas en este proyecto son la culminación de todas las aplicaciones específicas anteriores.

Por tanto, el modelo de ciclo de vida que más se ajusta a este desarrollo es el **ciclo de vida en espiral** como el mostrado en la *Ilustración 48*.

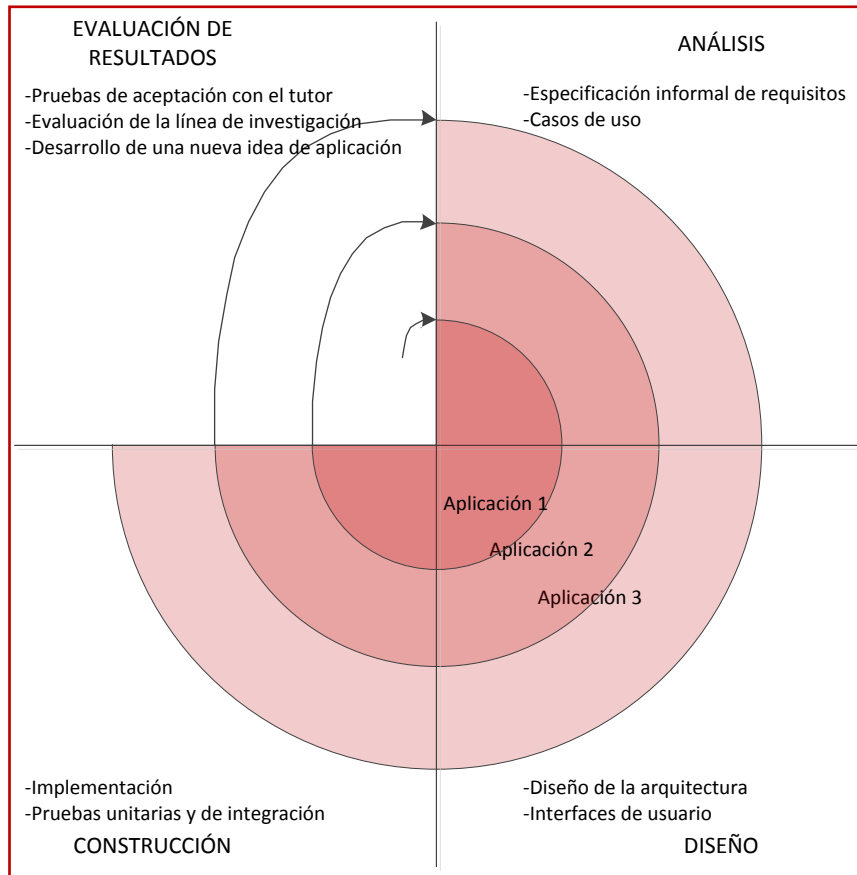


Ilustración 48 - Ciclo de vida en espiral utilizado

En dicho modelo, las aplicaciones siguientes se desarrollan como incrementos de las aplicaciones previas, redefiniendo los requisitos en base a la evaluación de la aplicación y a las nuevas necesidades generadas en el contexto de la línea de investigación y compartiendo componentes, reutilizando el código fuente de las partes comunes.

Por tanto antes del desarrollo de las aplicaciones tratadas en este proyecto se han construido toda una colección de aplicaciones más reducidas y más especializadas. A continuación se comentan dichas aplicaciones:

- *Aplicación GPS*: Aplicación para dispositivo móvil inicial cuyo objetivo es probar y verificar la biblioteca de acceso al GPSID y comprobar el *hardware* GPS. Muestra al usuario su posición actual en coordenadas geográficas.
- *Toma de tiempos*: Aplicación que enciende y apaga intermitentemente el GPS, permitiendo realizar pruebas de rendimiento sobre el dispositivo móvil.
- *Podómetro*: Aplicación precursora de *Pulgarcito*, que informa al usuario de la distancia que ha recorrido, consultando periódicamente su posición actual.
- *Puntos de interés*: Aplicación que permite al usuario almacenar una posición en base a la localización GPS del momento, junto con una descripción de dicha localización.

## 6.2. Planificación del proyecto

A continuación se especifican la planificación del proyecto, describiendo cada una de las fases y mostrando sus fechas de comienzo y fin en el correspondiente diagrama de Gantt.

Como se ha podido observar en la *Ilustración 48*, el desarrollo de cada aplicación se ha compuesto de tres fases principales:

- **Análisis**, que incluye la definición de requisitos y los casos de uso ensayados.
- **Diseño**, que incluye el diseño arquitectónico y detallado, la especificación de protocolos de comunicación con otras entidades y el diseño de interfaces de usuario.
- **Construcción**: Implementación del código de la aplicación y pruebas básicas.
- **Evaluación**: Estudio y aceptación de la aplicación desarrollada.

A estas cuatro fases se ha de añadir una quinta:

- **Mantenimiento**: Correcciones y modificaciones (reducidas y poco costosas) llevadas a cabo en las aplicaciones ya desarrolladas, realizadas en paralelo al desarrollo de las siguientes aplicaciones.

La primera aplicación en ser desarrollada fue *Aplicación GPS*, precursora de todas las demás. A partir de ella se crearon en paralelo las aplicaciones *Podómetro* y *Toma de Tiempos*. La aplicación *Pulgarcito* se ideó como una fusión de ambas aplicaciones con requisitos ampliados. Por último, la aplicación *PulgarcitoPC* se ideó como complemento a la aplicación *Pulgarcito*, para que el usuario pudiese descargar y gestionar sus mapas y rutas.

La fecha de comienzo de la beca de colaboración fue el **1 de Septiembre de 2008**, y por tanto será considerada como fecha inicial en el diagrama de Gantt presentado.

La fecha de finalización del presente proyecto es el **1 de Septiembre de 2010**, y será considerada como la fecha final en el diagrama de Gantt presentado.

Los meses de Julio y Agosto de 2009 no se trabajó ni en la beca ni en el actual proyecto. Por tanto tampoco serán incluidos en el cálculo de costes del proyecto.

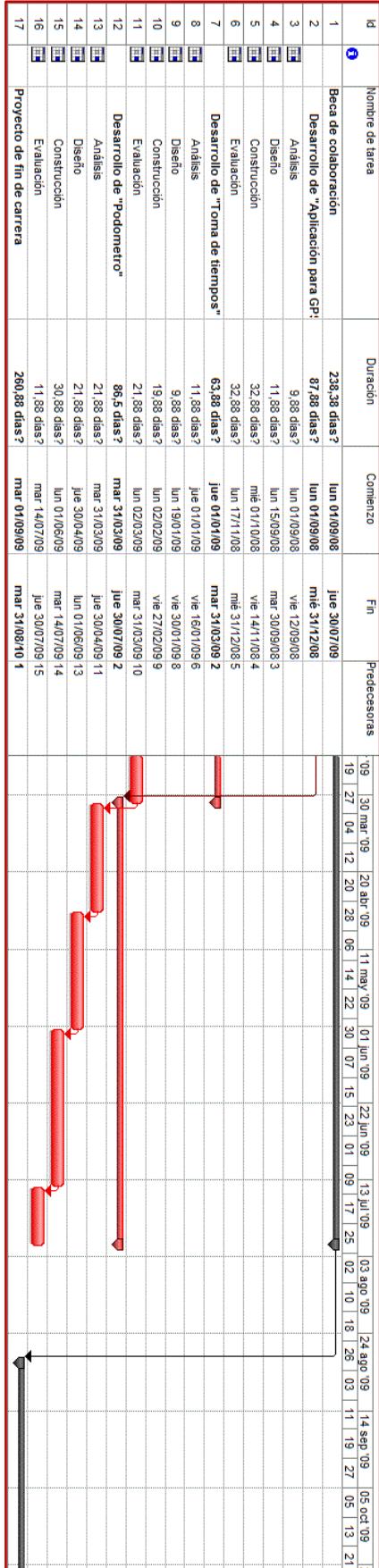
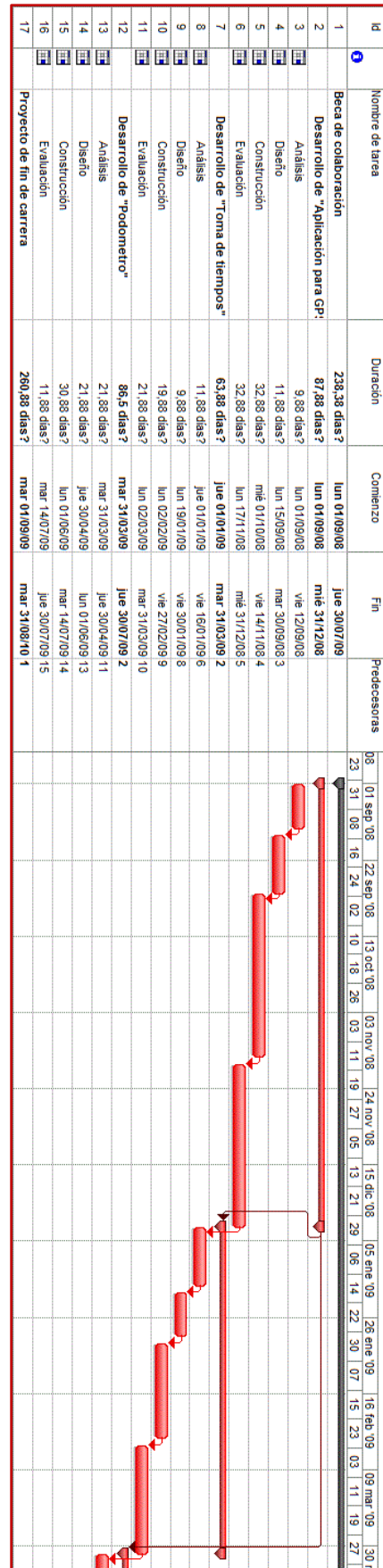
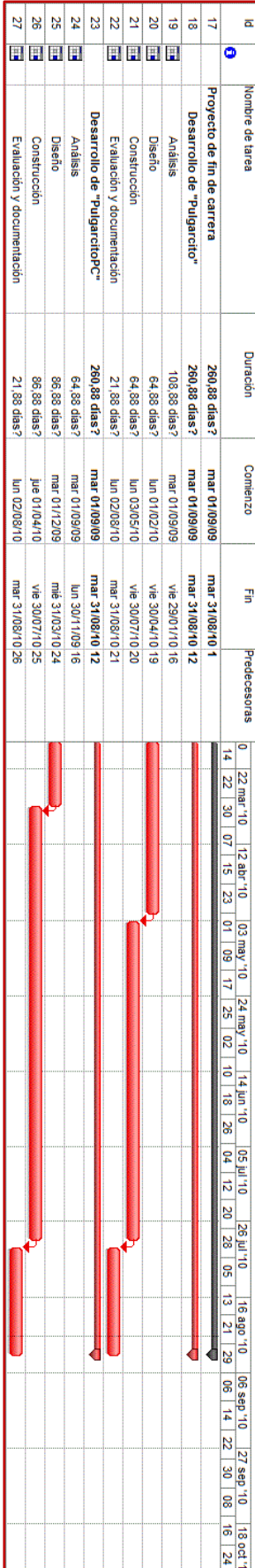
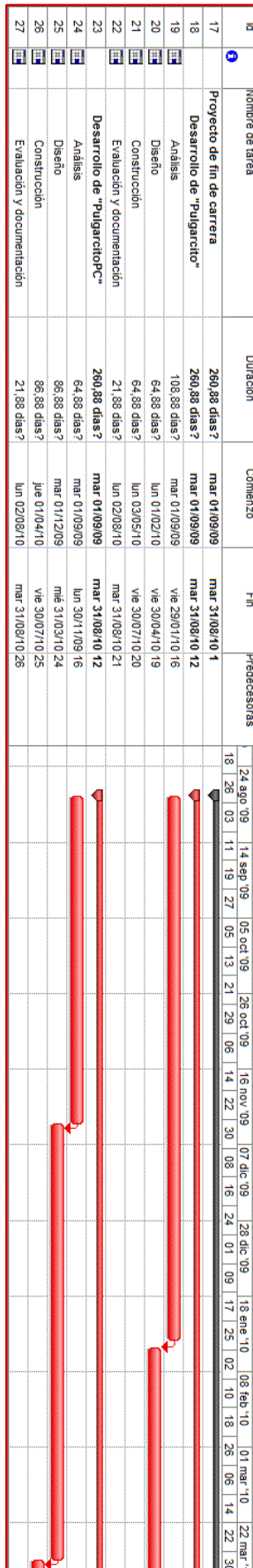


Ilustración 49 - Diagrama de Gantt: (2/4) y (1/4)



*Ilustración 50 - Diagrama de Gantt: (4/4) y (3/4)*

### 6.3. Costes del proyecto

A continuación se desglosan los costes del proyecto:

<b>Información del proyecto</b>	
<b>Título</b>	<b>Desarrollo de un sistema de seguimiento de rutas para entornos aislados</b>
<b>Autor</b>	Alberto García Fernández
<b>Departamento</b>	Departamento de informática
<b>Duración</b>	12 meses
<b>Tasa de costes indirectos</b>	20%
<b>Presupuesto total</b>	49.761 euros.

*Tabla 118 – Información del proyecto*

- 1 Hombre mes = 131,25 horas
- Máximo anual de dedicación = 12 hombres mes (1575 horas)
- Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid = 8,8 hombres mes (1155 horas)

<b>Costes directos de personal</b>				
<b>Apellidos y nombre</b>	<b>Categoría</b>	<b>Dedicación (hombre mes)</b>	<b>Coste (hombre mes)</b>	<b>Coste (euros)</b>
García Fernández, Alberto	Ingeniero	8	2.694,39	21.555,12
García Carballeira, Félix	Ingeniero Senior	4	4.289,54	17.158,16
<b>Total</b>				<b>38.713,28</b>

*Tabla 119 – Costes de personal*

<b>Conformidad del personal</b>		
<b>Apellidos y nombre</b>	<b>N.I.F</b>	<b>Firma de conformidad</b>
García Fernández, Alberto	51107XXXY	
García Carballeira, Félix	XXXXXXXY	

*Tabla 120 – Conformidad del personal*

## PRESUPUESTO

Costes directos de equipos					
Descripción	Coste (euros)	% Uso dedicado al proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable
Ordenador clónico	800,00	50	12	60	80,00
<i>Alienware Aurora</i>	2.150,00	80	12	60	344,00
HTC P3300	200,00	100	12	60	40,00
HTC Touch Diamond	450,00	100	12	60	90,00
<b>Total</b>					<b>554,00</b>

*Tabla 121 – Costes de equipos*

Otros costes directos		
Descripción	Empresa	Costes imputables
Media pensión en días laborables a lo largo de todo el proyecto	Universidad Carlos III de Madrid	1.600,00
Trayecto de ida y vuelta al lugar de trabajo en días laborables	Universidad Carlos III de Madrid	600,00
<b>Total</b>		<b>2.200,00</b>

*Tabla 122 – Otros costes directos*

Resumen de costes	
Personal	38.713
Amortización	554
Costes de funcionamiento	2.200
Costes indirectos	8.293
<b>Total</b>	<b>49.761</b>

*Tabla 123 – Resumen de costes*

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de **49.761 €** (cuarenta y nueve mil setecientos sesenta y un euros).

Leganés a 1 de Septiembre de 2010

El ingeniero proyectista.

Fdo. Alberto García Fernández





#### 6.4. Propuesta de oferta

La presente oferta de venta del proyecto ha sido desarrollada con fines ilustrativos para complementar al presupuesto final del proyecto y no tiene validez legal alguna.

A modo de ejemplo se ha aplicado al presupuesto final del proyecto incrementos porcentuales en función del factor de riesgo, del beneficio que se desea obtener y de la tasa normal del IVA aplicable en el Reino de España. Además, se hace un desglose de los componentes y servicios que se incluyen la oferta.

Cálculo de la oferta				
Concepto	Coste	Riesgo (20 %)	Beneficio (10 %)	IVA (18 %)
Total (Precio del proyecto)	49.761,00	59.713,20	65.684,52	78.821,42

Tabla 124 – Cálculo de la oferta

Por tanto se recomienda una oferta con un precio total de **78.821,42 €** (setenta y ocho mil ochocientos veintiún euros).

En dicha oferta se incluyen los siguientes conceptos:

- Prototipos desarrollados de las aplicaciones *Pulgarcito* y *PulgarcitoPC*.
- Código fuente y documentación del código de ambas aplicaciones.
- Documentación relativa a las aplicaciones (manuales de usuario e instalación).
- Documentación relativa al desarrollo del proyecto (presente documento).
- Derechos de propiedad intelectual e industrial de los conceptos anteriores.

Aclaración: en dicha oferta NO se incluyen los siguientes conceptos, que si se desean deberán ser negociados independientemente:

- Mantenimiento de las aplicaciones, futuras modificaciones o incremento de las funcionalidades.







## **CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

## 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 7.1. Conclusiones

Para finalizar el proyecto, se van a exponer las conclusiones obtenidas a lo largo del proceso de desarrollo del *software* y a la vista de los resultados obtenidos tras la evaluación del producto.

#### 7.1.1. Aspectos positivos

En el apartado *1.2. Objetivo del proyecto* se establecía el alcance del proyecto y las metas rápidas que el producto desarrollado debía satisfacer para conformarse como una solución rentable que pudiera mostrarse competitiva en el mercado de los GPS. Se puede enunciar en términos generales que dichas metas se han cumplido.

El uso de mapas gratuitos descargados del servidor SIGPAC y dispositivos multipropósito con el *hardware* GPS incorporado como las HTC utilizadas durante la etapa de evaluación han abaratado el TCO de la solución. Los costes del proyecto se han reducido casi exclusivamente al desarrollo del *software*.

La solución se basa en el uso del GPS *standalone*, sin necesidad de infraestructuras adicionales como enlaces a datos o cobertura telefónica. Solo es necesaria la existencia de cobertura GPS. Aumentaciones o tecnologías adicionales pueden ser soportadas por el controlador del dispositivo (externo al *software* desarrollado) pero no deben ser sustituidas por la tecnología GPS original bajo riesgo de que el producto no realice correctamente su función. El método de uso del producto requiere de una preparación previa por parte del usuario durante la cual este se descarge los mapas y las rutas y los transfiera a su dispositivo móvil, un sacrificio que debe realizarse en pro de la reducción de costes.

El *software* en si ha cumplido los requisitos, y las pruebas han demostrado no solo que funciona sino que es robusto y resistente a entradas maliciosas. El desarrollo de las aplicaciones bajo la plataforma .NET permite disponer de todas las ventajas asociadas a este *framework*: código gestionado, motor de seguridad, optimización JIT, etc.

Además, se han desarrollado multitud de funcionalidades adicionales que pueden facilitar las tareas del usuario y hacer más atractivas las aplicaciones. Ejemplos de estas funcionalidades son el conversor de unidades y la ventana de parámetros de la elipsoide incluidas en la aplicación para PC y la posibilidad de configurar el color de los marcadores de ruta.

### 7.1.2. Aspectos negativos

Tanto la idea original como el propio proyecto se han construido desde 0. No se ha utilizado ningún código como punto de partida, más allá del propio ciclo de vida en espiral utilizado. Tampoco se han encontrado soluciones parecidas que ejemplifiquen o sirvan de guía durante las fases de análisis y desarrollo. A pesar de que como se ha comentado el sistema cumple con los requisitos y es robusto, este aspecto pionero del proyecto se hace notar a la hora de valorar los aspectos a mejorar y las posibles aplicaciones.

En primer lugar, a pesar de que se realizó un proceso de documentación previa al proyecto bastante exhaustivo, existen conceptos importantes que se han descubierto en fases del proyecto en las que ya se había adoptado una alternativa de solución, como pueden ser el estándar WMS y el formato XML GPX. Al haber sido descubiertos en una etapa tardía, no han podido incluirse en el proyecto. Un proceso de documentación previa que contase con más recursos en personal y tiempo habría permitido incluir estos formatos en la solución final.

La interfaz de usuario del sistema no ha resultado todo lo intuitiva y fácil de manejar que resultaría deseable. La aplicación para PC ha resultado bastante sencilla de manejar e intuitiva en sus funciones más básicas. La aplicación para dispositivo móvil, no obstante resulta más complicada de manejar en parte por las limitaciones inherentes a este tipo de dispositivos. Toda la funcionalidad de la aplicación es accesible a través de un menú que quizás es demasiado extenso y profundo. Un mejor diseño de la interfaz facilitaría las tareas del usuario.

Por último, las arquitecturas seleccionada para las aplicaciones, el MVC y la arquitectura por capas, no han cumplido las expectativas generadas. Se esperaba con dichas arquitecturas conseguir componentes estancos accesibles solo a través de una interfaz, lo cual permitiese sustituirlos o modificarlos aisladamente sin necesidad de arrastrar los cambios a otro componente. En la práctica, la vista y el controlador han quedado demasiado ligadas y las aplicaciones han resultado demasiado monolíticas para lograr la correcta separación en componentes y el bajo acoplamiento que proponen las arquitecturas por capas y MVC.

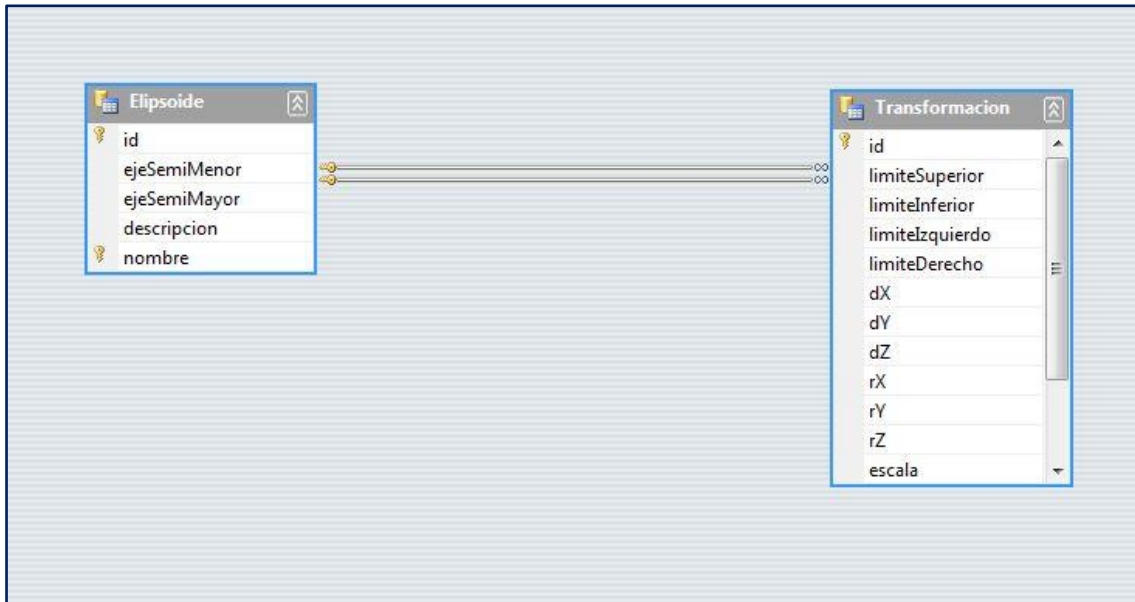
## 7.2. Trabajos futuros

Como se ha comentado, el proyecto puede ser fácilmente ampliable. Se muestran a continuación una serie de líneas de expansión que se podrían seguir en un futuro.

### 7.2.1. Ampliar elipsoides y transformaciones

Actualmente, la aplicación permite trabajar en dos *datums*: WGS84 y ED-50. Además, soporta la transformación entre esos dos *datums* en la Península Ibérica y en las islas Baleares. No obstante, existen muchos más *datums* utilizados a lo largo de todo el planeta, con sus correspondientes parámetros de transformación a otros *datums*.

La aplicación está diseñada para facilitar la inclusión de nuevos *datums* y transformaciones, al haberse utilizado técnicas de herencia y polimorfismo. Una futura mejora sería la agregación de otros sistemas o incluso la eliminación de estos datos del código fuente del programa y su inclusión en un modelo de datos gestionado de forma similar a una base de datos, lo cual facilitaría la inserción, modificación y borrado de nuevos sistemas. La *Ilustración 51* muestra un posible modelo relacional sencillo para gestionar los elipsoides y las transformaciones.



*Ilustración 51 - Posible modelo de datos de elipsoides y transformaciones*

### 7.2.2. Integración con Google Maps.

El uso de *Google Maps* como servidor de mapas fue una posibilidad que se estuvo barajando durante las etapas iniciales del proyecto pero que fue finalmente descartada en el estudio de alternativas de solución. No obstante, el diseño de clases implementado facilita la agregación de nuevos servidores de mapas, y la interfaz diseñada ya incluye una opción para utilizar *GMaps*, aunque la funcionalidad completa no se ha implementado. La *Ilustración 61* que figura en el manual de usuario muestra dicha opción.

Para integrar *GMaps* existen dos opciones. La primera está basada en el API de *Google Maps* mediante el uso de las tecnologías *web JavaScript* y *AJAX*. La integración de dicho API en una aplicación de escritorio se realizaría a través del control *System.Windows.Form.WebBrowser* [48] que permite incluir funcionalidades limitadas de navegación por Internet en una aplicación de escritorio. Esta opción es la que se ha introducido en la interfaz de la aplicación *PulgarcitoPC* desarrollada.

La segunda alternativa se basa en el uso del API Google Static Maps, y el procedimiento sería similar al utilizado con el servidor SIGPAC. Construcción de una URL con los parámetros de la imagen y descarga directa por HTTP. Esta opción resulta más cómoda e integrable que la anterior.

### 7.2.3. Integración con servidores WMS

Otra línea de ampliación, similar a la anterior pero con otro enfoque, consiste en utilizar como servidores de mapas servidores WMS e implementar el estándar WMS.

Actualmente, la aplicación *PulgarcitoPC* tiene una peligrosa dependencia con SIGPAC. Puesto que se está utilizando una interfaz con el servidor no documentado, extraído mediante ingeniería inversa y sin autorización ni prohibición por parte de SIGPAC, no existe ninguna garantía de que dicho protocolo de acceso no vaya a cambiar en un futuro. Un cambio de esas características invalidaría toda la solución.

Para evitar esa dependencia sería aconsejable implementar el estándar WMS, que permitiría disponer de una colección de servidores, todos accedidos mediante el mismo protocolo. De esta forma la solución dispondría de recursos casi ilimitados para acceder a los recursos de mapas, y no dependería de SIGPAC, que actualmente es un punto crítico de la solución.

A continuación se muestra un breve listado de páginas *web* que disponen de servidores WMS en España:

- **Base IDEE** (Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional) [49]
- **Catastro** (Cartografía Catastral de España) [50]
- **IDERioja** (Cartografía de La Rioja) [51]
- **Corine** (Corine Land Cover España) [52]

### 7.2.4. Evolución de la interfaz de usuario a WPF

Las aplicaciones actuales se han diseñado utilizando el *framework* .NET v2.0, y formas visuales incluidas en las bibliotecas de *Windows Forms* [53], que fueron empleadas en las versiones de *Microsoft Windows* anteriores a *Windows Vista*. Actualmente *Windows* incorpora un conjunto de bibliotecas llamadas *Windows Presentation Foundation* (WPF) [54] incorporadas en *framework* v3.0. Dichas bibliotecas incluyen un conjunto de formularios visuales mucho más potentes y atractivos que los anticuados *WinForms*.

Dichas formas incluyen efectos gráficos, transparencias, paneles de tamaño variable, integración multimedia, y otras características que dotarían a la aplicación de un mayor atractivo visual.

### 7.2.5. Sincronización de las aplicaciones mediante *ActiveSync*

Actualmente, el intercambio de información entre las dos aplicaciones desarrolladas se produce de forma asíncrona. Cualquiera de ellas genera un fichero de datos y lo guarda en el sistema de ficheros del *host*, ya sea este un PC o el dispositivo móvil. Posteriormente el usuario traslada dicho fichero al sistema de ficheros del otro *host*, ya sea mediante copia a través de un cable USB, correo electrónico, etc. Y por último, el usuario abre el fichero copiado con la otra aplicación.

Este procedimiento puede ser lento y tedioso. Se puede plantear como alternativa la utilización de *ActiveSync* [44] como procedimiento de intercambio de ficheros entre el PC y el dispositivo móvil.

*Microsoft ActiveSync* es un programa de sincronización que permite transportar documentos, calendarios, listas de contacto y correo electrónico entre un PC y un dispositivo móvil que lo soporte. La plataforma *Windows Mobile 6* incluye por defecto *Microsoft ActiveSync*. Y el *framework .NET CF* incluye bibliotecas para implementar usos propios de *ActiveSync* [55].

Con una sincronización basada en *ActiveSync*, síncrona y más automatizada, se podría aligerar el proceso de transferir archivos entre ambas aplicaciones.

### 7.2.6. Formato de ficheros XML basado en GPX

El formato de intercambio XML utilizado por las aplicaciones es un formato creado específicamente para esta solución. No sigue ningún tipo de estándar ya que tenía que aunar diferentes tipos de datos como son puntos de coordenadas e imágenes con sus metadatos asociados. El formato completo se describe en el apartado 4.5. *Formato de ficheros XML*.

Existe un formato en Internet llamado GPS eXchange Format (GPX) [56], pensado para transferir datos GPS entre aplicaciones. En dicho formato se representan estructuras de puntos (*waypoints*), caminos (*tracks*) y rutas (*routes*). Una representación muy similar a la utilizada en el formato desarrollado para las aplicaciones.

No alcanza la categoría de estándar pero su uso está ampliamente difundido entre fabricantes de GPS. Páginas como *GMaps* permiten cargar ficheros GPX y visualizar los puntos de la ruta en el mapa del navegador.

La implementación de este formato aumentaría la interoperabilidad de las aplicaciones con otros sistemas más populares y propiciaría una mayor difusión del producto.





## **BIBLIOGRAFÍA**



## 8. BIBLIOGRAFÍA

### 8.1. Publicaciones

- [1] Elliot D. Kaplan. "*Understanding GPS: principles and applications*". Artech House. 1996.
- [2] David S. Platt. "*Introducing Microsoft .NET*". Microsoft. 2001.
- [3] Thuan L. Thai. "*.NET Framework essentials*". O'Reilly. 2002.
- [4] Ramiro Jesús Ayala Arizpe. "*Historia, cronología, funcionamiento y aplicación del GPS a través de tres décadas*". Junio de 2002.
- [5] "*Fact Sheet U.S Global Positioning System Policy*". 29 de Marzo de 1996.
- [6] "*News Release: Global Positioning System Fully Operational*". 15 de Julio de 1995.
- [7] "*Canalys research release 2007/031*". 13 de Marzo del 2007.  
"*Canalys research release 2006/081*". 11 de Agosto del 2006.
- [8] Dagoberto José Salazar Hernández. "*Navegación aérea, cartografía y cosmografía*". Ingeniería Técnica Aeronáutica de la Escuela Politécnica Superior de Castelldefels, Universidad Politécnica de Catalunya. 3 de Marzo de 2008.
- [9] Dagoberto José Salazar Hernández. "*La Tierra*". 13 de Septiembre de 2006.
- [10] "*Proyección Universal Transversa Mercator Vol. II: Tablas*". Servicio Geográfico del Ejército. 1976.
- [11] "*USGS Bolletin Num. 1532*". 1973.
- [12] Alberto Cottichia, Luciano Surace. "*Bolletino di Geodesia e Science Affini Num. I*".
- [13] "*Reglamento (CE) nº 1593/2000 del Consejo de 17 de Julio de 2000*". Consejo de la Unión Europea.

## 8.2. Páginas web

- [14] <http://www.apple.com/es/iphone>  
Apple Inc.
- [15] <http://maps.google.es>  
Google Inc.
- [16] <http://www.tomtom.com>  
TomTom International BV.
- [17] <http://geodesy.eng.ohio-state.edu/about.php>  
Ohio University.
- [18] <http://buscon.rae.es/draeI/SrvltGUIBusUsual?LEMA=geodesia&origen=RAE>  
Real Academia Española.
- [19] <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=064>  
GabrielOrtiz.com 2003-2010 – Tu web sobre Sistemas de Información Geográfica GIS – SIG
- [20] <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ellipsoide.png>  
Wikipedia.
- [21] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geographic\\_coordinates\\_sphere.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geographic_coordinates_sphere.svg)  
Wikipedia.
- [22] <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Netzentwuerfe.png>  
Wikipedia. Maximilian Dörrbecker. “Vergleichende Darstellung ausgewählter Kartenprojektionsarten”
- [23] [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html)  
University of Colorado at Boulder.
- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Utm-zones.jpg>  
Earth Observatory office of the United States government space agency NASA. Imagen creada específicamente para Wikipedia.
- [25] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:ECEF.png>  
Wikipedia.
- [26] <http://www.crs-geo.eu>  
Information and Service System for European Coordinate Reference Systems.

- [27] <http://www.bkg.bund.de>  
Federal Agency for Cartography and Geodesy.
- [28] <http://www.eurogeographics.org>  
Eurogeographics.
- [29] <http://www.euref-iag.net>  
European Reference Frame.
- [30] [http://www.crs-geo.eu/nn\\_124226/crseu/EN/CRS\\_Description/crs-national\\_node.html?\\_nnn=true](http://www.crs-geo.eu/nn_124226/crseu/EN/CRS_Description/crs-national_node.html?_nnn=true)  
Information and Service System for European Coordinate Reference Systems - Description of national Coordinate Reference Systems (CRS) of European Countries.
- [31] [http://www.geom.unimelb.edu.au/gisweb/SDEModule/SDE\\_Theory\\_GPS.htm](http://www.geom.unimelb.edu.au/gisweb/SDEModule/SDE_Theory_GPS.htm)  
Melbourne School of Engineering. University of Melbourne.
- [32] <http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/index.html>  
Google Inc.
- [33] <http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/terms.html>  
Google Inc.
- [34] <http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/documentation/staticmaps>  
Google Inc.
- [35] <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>  
Open Geospatial Consistorium.
- [36] <http://www.opengeospatial.org>  
Open Geospatial Consistorium.
- [37] <http://www.mapa.es/es/sig/pags/sigpac/intro.htm>  
SIGPAC.
- [38] <http://www.marm.es>  
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- [39] [http://java.sun.com/docs/books/jvms/second\\_edition/html/ClassFile.doc.html](http://java.sun.com/docs/books/jvms/second_edition/html/ClassFile.doc.html)  
Oracle Corporation.

- [40] <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-335.htm>  
ECMA International.
- [41] <http://msdn.microsoft.com/en-us/kb/kb00318785.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [42] [http://en.wikipedia.org/wiki/.NET\\_Compact\\_Framework](http://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Compact_Framework)  
Wikipedia.
- [43] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb202086.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [44] <http://www.microsoft.com/windowsmobile/en-us/help/synchronize/device-synch.mspx>  
Microsoft.
- [45] <http://www.alienware.com>  
Dell Inc.
- [46] <http://www.htc.com/es/product/touchdiamond/overview.html>  
HTC Corporation.
- [47] <http://www.htc.com/es/product/p3300/overview.html>  
HTC Corporation.
- [48] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.forms.webbrowser.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [49] <http://www.idee.es>  
Base IDEE,
- [50] <http://ovc.catastro.meh.es>  
Catastro.
- [51] <http://www.iderioja.larioja.org>  
IDERioja.
- [52] [http://www.fomento.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/INSTITUTO\\_GEOGRAFICO/Teledeteccion/corine](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Teledeteccion/corine)  
Corine.

- [53] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd30h2yb.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [54] <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms754130.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [55] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms879772.aspx>  
MSDN Library. Microsoft.
- [56] <http://www.topografix.com/gpx.asp>  
GPX: the GPS Exchange Format.
- [57] <http://www.uc3m.es>  
Universidad Carlos III de Madrid.
- [58] <http://www.med.es>  
Ministerio de Educación y Cultura.



**ANEXOS**

## ANEXOS

### Anexo I: Manual de usuario

#### Instalación y configuración

La solución está dividida en dos aplicaciones, una llamada *PulgarcitoPC* que se instalará en el PC del usuario, y otra llamada *Pulgarcito*, que se instalará en el dispositivo móvil con *Windows Mobile 6* con GPS del usuario. Ambas se instalarán mediante sus correspondientes paquetes de instalación:

- *PulgarcitoPC*:           Ficheros *setup.exe* y *SetupPulgarcitoPC.msi*
- *Pulgarcito*:             Fichero *PulgarcitoInstaller.cab*

Para instalar la aplicación *PulgarcitoPC*, se copiarán ambos archivos a una carpeta del PC del usuario y se ejecutará el archivo *setup.exe*. Posteriormente se completará el consecuente procedimiento paso a paso.

Para instalar la aplicación *Pulgarcito*, se copiará el archivo *PulgarcitoInstaller.cab* a una carpeta del sistema de ficheros del dispositivo móvil (a través de un cable USB o descargándoselo por red) y se ejecutará. Posteriormente se completará el consecuente procedimiento paso a paso.

#### Requisitos mínimos

A continuación se muestran los requisitos mínimos que se requieren para que ambas aplicaciones funcionen en sus respectivas plataformas: *PulgarcitoPC* sobre un ordenador personal y *Pulgarcito* sobre un dispositivo móvil.

- Ordenador personal
  - Procesador *Intel* o *AMD* a 166 MHz o superior.
  - 256 MB de memoria RAM.
  - 10 MB de espacio en disco duro
  - *Windows 2000* o superior.
  - Microsoft .NET *Framework* 2.0 o superior.
  - Conexión a internet.
- Dispositivo móvil
  - Receptor GPS integrado.
  - 10 MB de espacio en memoria integrada o tarjeta extraíble.
  - Sistema operativo *Microsoft Windows Mobile 6.0* o superior.
  - *Microsoft .NET Compact Framework* 2.0 o superior.

### Guía rápida de *PulgarcitoPC*

El método de trabajo con la aplicación *PulgarcitoPC* es el siguiente. El usuario navega a través de las coordenadas o de los controles del mapa la zona que desea, para posteriormente construir una ruta añadiéndole puntos. El usuario puede gestionar dichos puntos modificándolos o eliminándolos. Cuando haya finalizado la ruta, la guardará en un fichero, en el cual se guardarán automáticamente todas las imágenes descargadas. Por último, el usuario podrá repetir el proceso creando una nueva ruta.

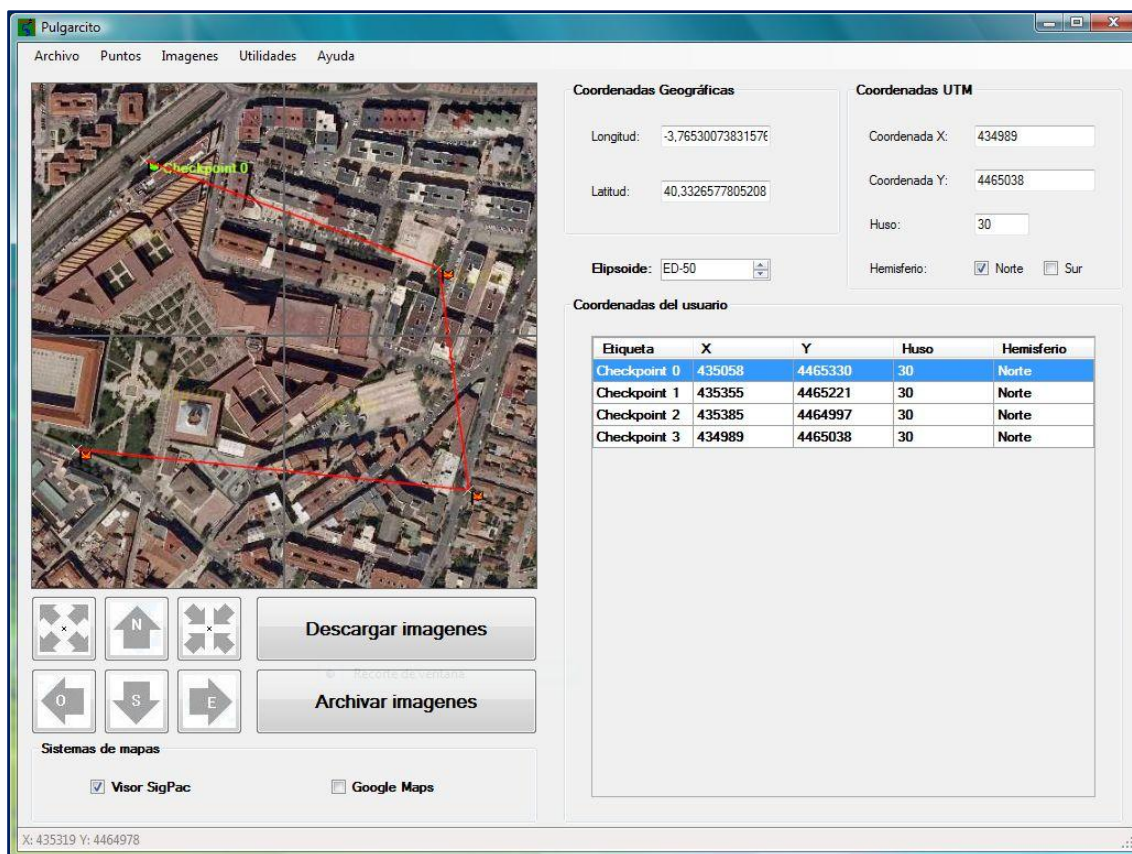


Ilustración 52 - Pantalla principal de *PulgarcitoPC*

- Menú

El menú del programa permite la creación de nuevas rutas, guardar una ruta en un fichero, o abrir un fichero que contenga una ruta.

Permite la inserción de puntos manualmente (sin necesidad de utilizar el panel de imágenes) y eliminar o modificar puntos de la ruta actual.

Permite ver que imágenes han sido descargadas (y por tanto se guardarán en el fichero de rutas), así como borrar imágenes descargadas.



Permite acceder a herramientas tales como el conversor de grados a grados, minutos y segundos, visualizar los parámetros del elipsoide seleccionado, o la consola de depuración.



*Ilustración 53 – Menú de PulgarcitoPC*

- Panel de imágenes

El panel de imágenes muestra el mapa en la pantalla.

Pulsando un *click* sobre el panel traslada la coordenada del punto en el que se ha pulsado a los paneles de coordenadas geográficas y UTM.

Pulsando doble *click* inserta el punto en el que se ha pulsado en la ruta actual como último punto.



*Ilustración 54 – Panel de imágenes de PulgarcitoPC*

- Botones

Los botones situados debajo del panel de imágenes permiten navegar por el mapa y gestionar las imágenes.

Los cuatro botones (N, S, O, E) permiten trasladar el mapa una cuadrícula al Norte, Sur, Oeste y Este respectivamente.

Los botones de zoom permiten aumentar o disminuir la escala del mapa.

El botón descargar imágenes traslada el mapa a las coordenadas que figuran en los paneles de coordenadas geográficas y UTM.

El botón archivar imágenes añade las imágenes de la cuadrícula a la lista de imágenes descargadas. Generalmente, al añadir un nuevo punto a la ruta, se añaden automáticamente todas las imágenes entre el nuevo punto y el último punto de la ruta. No obstante, este botón permite añadir imágenes sin necesidad de añadir un punto de ruta.



*Ilustración 55 - Botones de PulgarcitoPC*

- Panel de coordenadas geográficas

Muestra las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del punto seleccionado, en el elipsoide indicado por el control de elipsoide. Se puede actualizar desde diferentes fuentes.

Esta sincronizado con el panel adyacente de coordenadas UTM. La misma coordenada figura en ambos paneles, en uno en formato geográfico y en otro en formato UTM. Si uno de los dos paneles se modifica el otro se actualiza.

Si se hace un *click* sobre el panel de imágenes, la coordenada seleccionada se carga en el panel de coordenadas geográficas.

Si se hace doble *click* sobre un punto de la tabla de coordenadas del usuario, el punto seleccionado se carga en el panel de coordenadas geográficas.

Si se cambia el elipsoide actual a través del control de elipsoides, se cargarán en el panel el punto que figuraba anteriormente convertido al nuevo elipsoide.

El usuario también puede modificar manualmente este panel o el panel de coordenadas UTM.



Coordenadas Geográficas

Longitud: -3,76530073831576

Latitud: 40,3326577805208

Ilustración 56 – Panel de coordenadas geográficas de PulgarcitoPC

- Panel de coordenadas UTM

Similar al panel de coordenadas geográficas. Dispone de las mismas funcionalidades.



Coordenadas UTM

Coordenada X: 434989

Coordenada Y: 4465038

Huso: 30

Hemisferio: ☒ Norte ☐ Sur

Ilustración 57 – Panel de coordenadas UTM de PulgarcitoPC

- Panel de coordenadas del usuario

Muestra una tabla con la ruta actual del usuario. Cada fila de la tabla muestra el nombre de un punto de ruta y sus coordenadas. Si el elipsoide actual es el ED50 las coordenadas se muestran en sistema UTM, ya que es el formato más frecuente de representación de coordenadas en este *datum*. Por el contrario, si el elipsoide actual es el WGS84, las coordenadas se muestran en formato geográfico, por razón similar a la anterior.

Pulsando sobre el campo Etiqueta, el usuario puede cambiar el nombre del punto.

Pulsando un *click* sobre una fila de la tabla, dicho punto queda resaltado en el plano (si se encuentra en él).

Pulsando doble *click* sobre una fila de la tabla, el mapa se traslada hasta el punto seleccionado.

Pulsando la tecla suprimir, se eliminan las filas (y por tanto los puntos de la ruta) seleccionadas.

Coordenadas del usuario

Etiqueta	X	Y	Huso	Hemisferio
Checkpoint 0	435058	4465330	30	Norte
Checkpoint 1	435355	4465221	30	Norte
Checkpoint 2	435385	4464997	30	Norte
Checkpoint 3	434989	4465038	30	Norte

Ilustración 58 – Panel de coordenadas del usuario de PulgarcitoPC

- Elipsoide

Muestra el elipsoide actual seleccionado. Cambiando el elipsoide se actualizan las coordenadas de los paneles de coordenadas, convirtiéndose todos los puntos del antiguo *datum* al nuevo *datum*.

Elipsoide: ED-50

Ilustración 59 – Control de elipsoide de PulgarcitoPC

- Barra de información

Muestra información de diferentes tipos. Las coordenadas del punto donde se encuentra el ratón cuando este se mueve por encima del panel de imágenes y si se están cargando imágenes o si ya han sido cargadas.

X: 435319 Y: 4464978

Ilustración 60 – Barra de información de PulgarcitoPC

- Sistema de mapas

Funcionalidad no implementada pero que figura en la interfaz para su posterior desarrollo.

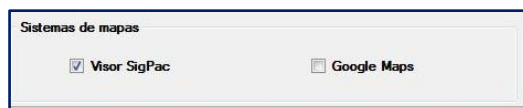


Ilustración 61 – Sistema de mapas de PulgarcitoPC

### Guía rápida de *Pulgarcito*

El manejo de la aplicación *Pulgarcito* se realiza mayormente a través de su menú. La información se muestra a través de las etiquetas textuales de la pantalla y el mapa se muestra en un panel que se superpone a dichas etiquetas y que surge o desaparece a discreción del usuario. Por tanto, el usuario debe alternar su vista de la información textual y de la imagen con el mapa.

Una vez encendido el GPS y sintonizada la señal, el usuario puede realizar las siguientes acciones:

- ✓ Recibir información de su posición actual (y reflejarla en el mapa si dispone del mapa adecuado).
- ✓ Añadir periódicamente su situación actual a la lista de puntos de una ruta almacenada.
- ✓ Seguir los puntos de una ruta almacenada (mediante su posición actual) hasta el punto de destino (último punto de la ruta).

Además, como acciones puntuales, el usuario podrá:

- ✓ Crear una nueva ruta sin puntos.
- ✓ Configurar parámetros de la aplicación.

Se describe a continuación las secciones más relevantes del menú de la aplicación.

- Archivo

Permite abrir archivos de rutas que contengan puntos y/o imágenes. También permite guardar la ruta actual en un fichero. Por último, permite borrar la memoria de la aplicación, eliminando todas las imágenes y rutas que tuviese almacenados.

- Configurar

Permite configurar parámetros básicos de la aplicación, como pueden ser el periodo de inserción de puntos cuando se está añadiendo puntos a una ruta, el número de decimales con los que se muestran los datos, o la distancia a la que se debe acercar el usuario a un punto de la ruta para que se considere que ha llegado a él.

- Navegar a

Permite al usuario visualizar imágenes en función de diferentes criterios: imágenes adyacentes a la actual, imagen del punto inicial de la ruta e imagen del último punto de la ruta.

- Mapas

Permite al usuario mostrar u ocultar las imágenes de los mapas. Así como seleccionar una imagen concreta de entre las almacenadas en la aplicación. Por último, el usuario puede activar el modo "*Seguir automáticamente*", mediante el cual la aplicación mostrará la imagen correspondiente a su posición actual.

- Rutas

Permite al usuario seleccionar una ruta como ruta actual entre las rutas almacenadas por la aplicación. Además, permite al usuario crear una nueva ruta sin puntos, y puede almacenar puntos o rastrear puntos, añadiendo puntos a la ruta actual o siguiéndola respectivamente.

- Encender GPS

Enciende el receptor GPS del dispositivo. Dependiendo de la situación geográfica, de las condiciones climatológicas y de la presencia de obstáculos el GPS puede tardar más o menos tiempo en sintonizar la señal.



*Ilustración 62 - Datos textuales que ofrece Pulgarcito*



*Ilustración 63 - Mapa con un punto de ruta que ofrece Pulgarcito*

### Resolución de problemas

A continuación se describen los problemas más comunes que surgen cuando se trabaja con ambas aplicaciones, y los pasos para solucionarlos:

- *PulgarcitoPC:*
  - No se cargan las imágenes. Compruebe que tiene conexión a internet. Compruebe que las imágenes que desea obtener pertenecen a la península ibérica, islas baleares o islas canarias. El servidor de imágenes SIGPAC solo dispone de imágenes de dichas localizaciones.
  - Error al cambiar de elipsoide. Compruebe que las coordenadas que está trasformando pertenecen a la península ibérica, islas baleares o islas canarias. La aplicación solo dispone de parámetros de trasformación entre el elipsoide ED50 y el WGS84 en esas localizaciones.



- *Pulgarcito*:
  - No se sintoniza la señal del GPS. Compruebe que se encuentra en un lugar sin obstáculos y a cielo abierto. Aumente el valor del parámetro "*Dilución mínima*".
  - Se aproxima a un punto de la ruta pero no lo interpreta como alcanzado. Modifique el valor del parámetro "*Distancia de eliminación de WP*".

## Anexo II: Formulas matemáticas

### Cálculos sobre la geometría del elipsoide

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

*Ecuación 5 – Excentricidad (e)*

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$$

*Ecuación 6 - Segunda excentricidad (e')*

$$c = \frac{a^2}{b}$$

*Ecuación 7 - Radio polar de curvatura (c)*

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

*Ecuación 8 – Aplanamiento ( $\alpha$ )*

### Conversión de coordenadas geográficas a UTM: Problema directo

$$Huso = \left\lfloor \frac{\lambda \text{ (grados)}}{6} + 31 \right\rfloor$$

*Ecuación 9 - Huso*

$$\lambda_0(\text{grados}) = \text{Huso} \cdot 6 - 183$$

*Ecuación 10 - Meridiano central*

$$\Delta\lambda = \lambda(\text{rad}) - \lambda_0(\text{rad})$$

*Ecuación 11 - Distancia angular entre longitud y meridiano central*

$$A = \cos \varphi \cdot \sin \Delta\lambda$$

*Ecuación 12 - Parámetro A*

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \ln \left[ \frac{1+A}{1-A} \right]$$

*Ecuación 13 - Parámetro Xi*

$$\eta = \tan^{-1} \frac{\tan \varphi}{\cos \Delta\lambda} - \varphi$$

*Ecuación 14 - Parámetro Eta*

$$v = \frac{c}{(1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi)^{1/2}} \cdot 0,9996$$

*Ecuación 15 - Parámetro Ni*

$$\zeta = \frac{e'^2}{2} \cdot \xi^2 \cdot \cos^2 \varphi$$

*Ecuación 16 - Parámetro Dseda*

$$A_1 = \sin(2 \cdot \varphi)$$

*Ecuación 17 – Parámetro  $A_1$*

$$A_2 = A_1 \cdot \cos^2 \varphi$$

*Ecuación 18 – Parámetro  $A_2$*

$$J_2 = \varphi + \frac{A_1}{2}$$

*Ecuación 19 – Parámetro  $J_2$*

$$J_4 = \frac{3 \cdot J_2 + A_2}{4}$$

*Ecuación 20 - Parámetro  $J_4$*

$$J_6 = \frac{5 \cdot J_4 + A_2 \cdot \cos^2 \varphi}{3}$$

*Ecuación 21 - Parámetro  $J_6$*

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot e'^2$$

*Ecuación 22 - Parámetro Alfa*

$$\beta = \frac{5}{3} \alpha^2$$

*Ecuación 23 - Parámetro Beta*

$$\gamma = \frac{35}{27} \alpha^3$$

*Ecuación 24 - Parámetro Gamma*

$$B_{\phi} = 0,9996 \cdot c \cdot (\varphi - \alpha \cdot J_2 + \beta \cdot J_4 + \gamma \cdot J_6)$$

*Ecuación 25 - Parámetro B*

$$X = \xi \cdot v \cdot \left(1 + \frac{\zeta}{3}\right) + 500.000$$

*Ecuación 26 - Solución de la X UTM*

$$Y = \begin{cases} \eta + v \cdot (1 + \zeta) + B_{\phi} & \text{si } \varphi \geq 0 \\ \eta + v \cdot (1 + \zeta) + B_{\phi} + 10.000.000 & \text{si } \varphi < 0 \end{cases}$$

*Ecuación 27 - Solución de la Y UTM*

### Conversión de coordenadas geográficas a UTM: Problema inverso

$$X = X - 500.000$$

*Ecuación 28 - Eliminación del balanceo en coordenada X*

$$Y = \begin{cases} Y & \text{si hemisferio norte} \\ Y - 10.000.000 & \text{si hemisferio sur} \end{cases}$$

*Ecuación 29 - Eliminación del balanceo en coordenada Y*

$$\lambda_0(\text{grados}) = \text{Huso} \cdot 6 - 183$$

*Ecuación 30 - Meridiano central*

$$\varphi' = \frac{Y}{6.366.197,724 \cdot 0,9996}$$

*Ecuación 31 - Parámetro Fi prima*

$$v = \frac{c}{(1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi)^{1/2}} \cdot 0,9996$$

*Ecuación 32 - Parámetro Ni*

$$a = \frac{X}{v}$$

*Ecuación 33 - Parámetro a*

$$A_1 = \sin(2 \cdot \varphi')$$

*Ecuación 34 - Parámetro A<sub>1</sub>*

$$A_2 = A_1 \cdot \cos^2 \varphi'$$

*Ecuación 35 - Parámetro A<sub>2</sub>*

$$J_2 = \varphi' + \frac{A_1}{2}$$

*Ecuación 36 - Parámetro J<sub>2</sub>*

$$J_4 = \frac{3 \cdot J_2 + A_2}{4}$$

*Ecuación 37 - Parámetro J<sub>4</sub>*

$$J_6 = \frac{5 \cdot J_4 + A_2 \cdot \cos^2 \varphi'}{3}$$

*Ecuación 38 - Parámetro  $J_6$*

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot e'^2$$

*Ecuación 39 - Parámetro Alfa*

$$\beta = \frac{5}{3} \alpha^2$$

*Ecuación 40 - Parámetro Beta*

$$\gamma = \frac{35}{27} \alpha^3$$

*Ecuación 41 - Parámetro Gamma*

$$B_\phi = 0,9996 \cdot c \cdot (\varphi' - \alpha \cdot J_2 + \beta \cdot J_4 + \gamma \cdot J_6)$$

*Ecuación 42 - Parámetro B*

$$b = \frac{Y - B_\phi}{v}$$

*Ecuación 43 - Parámetro b*

$$\zeta = \frac{e'^2}{2} \cdot a^2 \cdot \cos^2 \varphi'$$

*Ecuación 44 - Parámetro Dseda*

$$\xi = a \cdot \left[ 1 - \frac{\zeta}{3} \right]$$

*Ecuación 45 - Parámetro Xi*

$$\eta = b \cdot (1 - \zeta) + \varphi'$$

*Ecuación 46 - Parámetro Eta*

$$\Delta\lambda = \tan^{-1} \frac{\sinh \xi}{\cos \eta}$$

*Ecuación 47 - Distancia angular entre longitud y meridiano central*

$$\tau = \tan^{-1} (\cos \Delta\lambda \cdot \tan \eta)$$

*Ecuación 48 - Parámetro Tau*

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

*Ecuación 49 - Solución de la longitud*

$$\varphi = \varphi' + \left[ 1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi' - \frac{3}{2} \cdot e'^2 \sin \varphi' \cdot \cos \varphi' \cdot (\tau - \varphi') \right] \cdot (\tau - \varphi')$$

*Ecuación 50 - Solución de la latitud*

#### Conversión de coordenadas geográficas a ECEF: Problema directo

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2 \varphi + b^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

*Ecuación 51 - Radio de curvatura en la vertical principal del punto*

$$X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

*Ecuación 52 - Solución final de la X ECEF*

$$Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sen \lambda$$

*Ecuación 53 - Solución final de la Y ECEF*

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2}\right) \cdot N + h) \cdot \sen \varphi$$

*Ecuación 54 - Solución final de la Z ECEF*

#### Conversión de coordenadas geográficas a ECEF: Problema inverso

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

*Ecuación 55 - Parámetro p (segundo factor de conversión)*

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Z \cdot a}{p \cdot b}$$

*Ecuación 56 - Parámetro Zeta (factor de conversión)*

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2 \varphi + b^2 \cdot \sen^2 \varphi}}$$

*Ecuación 57 - Radio de curvatura en la vertical principal del punto*

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N$$

*Ecuación 58 - Altitud elipsoidal*



$$\lambda = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$$

*Ecuación 59 - Solución final de la longitud*

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3 \theta}{p - e^2 \cdot a \cdot \cos^3 \theta} \right)$$

*Ecuación 60 - Solución final de la latitud*